

**“CÁLCULO DE VOLÚMENES DE ESTÉRIL E INVENTARIOS DE CARBÓN  
USANDO EL SOFTWARE CARLSON, MINA PRIBBENOW-DRUMMOND LTD.”**

**RAJETH AUGUSTO CASTRO SOCARRAS  
CÓD: 200820040**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS  
SOGAMOSO – BOYACÁ  
2014**

**“CÁLCULO DE VOLÚMENES DE ESTÉRIL E INVENTARIOS DE CARBÓN  
USANDO EL SOFTWARE CARLSON, MINA PRIBBENOW-DRUMMOND LTD.”**

**RAJETH AUGUSTO CASTRO SOCARRAS  
CÓD: 200820040**

***“Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de  
ingeniero en minas en la modalidad de práctica empresarial”***

**Director:  
MÓNICA YASMIN PORRAS PESCADOR  
Ingeniera de minas**

**Coordinador Empresa  
JHON MARLON MUÑOZ L.  
Ingeniero de minas**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS  
SOGAMOSO – BOYACÁ  
2014**

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Director de Escuela

---

Firma del Director del Proyecto

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Sogamoso, Septiembre de 2014.

**“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y  
TECNOLOGICA DE COLOMBIA FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO,  
RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO NO RESPONDE A LAS OPINIONES  
EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”**

**SE AUTORIZA LA REPRODUCCION DEL MISMO INDICANDO SU ORIGEN Y  
SU AUTOR.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios que derramo sus bendiciones y sabiduría sobre mí, que hicieron posible el desarrollo de este proyecto y mi crecimiento como persona y profesional. A mi madre que gracias a su apoyo y su esmero hizo posible mi crecimiento en valores y el desarrollo de mi carrera profesional.

A mi familia y amigos que siempre me han apoyado y creído en mí, siendo siempre mi pilar para no desfallecer y seguir adelante.

A la empresa Drummond Ltd. Y todo su recurso humano, que me abrieron sus puertas para el desarrollo de mi práctica empresarial y el desarrollo de mi proyecto.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, alma mater donde me forme como profesional y que hizo posible mi crecimiento como persona.

A Monica Yasmin Porras, Ingeniera en minas, Directora del proyecto, por orientarme y ayudarme en el correcto desarrollo del proyecto.

A Jaime William Jojoa, Ingeniero en Minas, cuyas asesorías aportaron al mejoramiento del proyecto.

A Gerardo Emilio Ortiz, estudiante de Ingeniería en Minas, por su apoyo, aporte y colaboración en el desarrollo tanto de mi práctica como de mi proyecto.

A todos mis profesores y compañeros que de una u otra forma ayudaron a mi formación como profesional y al desarrollo de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

|   | pág.   |
|---|--------|
| RESUMEN   | 13     |
| INTRODUCCIÓN  | 15     |
| <br>I. INFORME DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL                   | <br>16 |
| 1. GENERALIDADES  | 16     |
| 2. OBJETIVOS DE LA PRACTICA EMPRESARIAL                     | 17     |
| 2.1. Objetivo general:                                      | 17     |
| 2.2. Objetivos específicos:                                 | 17     |
| 3. DESARROLLO DE LA PRACTICA EMPRESARIAL                    | 18     |
| 3.1. Cargo asignado   | 18     |
| 3.2. Funciones asignadas                                    | 18     |
| 3.3. Capacitaciones   | 19     |
| 4. APORTES DE LA PRACTICA EMPRESARIAL                       | 20     |
| 4.1. Aportes de la empresa a la formación profesional       | 20     |
| 4.2. Aportes de la practica a la empresa                    | 20     |
| <br>II. INFORME TÉCNICO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL          | <br>21 |
| 1. GENERALIDADES DE LA MINA                                 | 21     |
| 1.1. Localización y rasgos generales                        | 21     |
| 1.2. Vías de acceso:  | 21     |
| 1.3. Geología del yacimiento                                | 23     |
| 1.4. Minería  | 25     |
| 2. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA                                  | 27     |
| 2.1. Nomenclatura y definiciones                            | 27     |
| 2.2. Descarga e identificación de puntos                    | 31     |
| 3. SOFTWARE CARLSON   | 39     |
| 3.1. Lectura de puntos de topografía en el software carlson | 40     |
| 3.2. Herramienta “field to finish” (usos y alcance)         | 43     |
| 3.3. Dibujo visualización y organización de puntos          | 46     |
| 3.4. Actualización e interpretación del avance de la mina   | 48     |
| 3.5. Manejo de layers según los mantos                      | 48     |
| 3.6. Referencias externas                                   | 51     |

|  | pág. |
|--|------|
| 3.7. Dibujo de las áreas que representan los puntos de topografía y su<br>a interpretación | 53   |
| 3.8. Términos necesarios para el cálculo de volúmenes y su definición.                     | 58   |
| 3.9. Identificación de las áreas mediante colores  | 59   |
| 3.10. Dibujo de los polígonos en carlson   | 59   |
| 4. CÁLCULO DE VOLÚMENES  | 61   |
| 4.1. Teorías para el cálculo de superficies de terreno                                     | 61   |
| 4.2. Creación de superficies en el software carlson.                                       | 64   |
| 4.3. Definición de superficies para el cálculo de cada polígono.                           | 70   |
| 4.4. Cálculo de volúmenes con el software carlson.   | 71   |
| 4.5. Cálculo de inventarios de carbón  | 75   |
| 4.6. Cálculo de pilas de carbón  | 77   |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y APLICACIONES   | 83   |
| 5.1. Analisis de los metodos de creacion de superficies                                    | 83   |
| 5.2. Usos y aplicaciones del cálculo de superficies y contornos                            | 86   |
| 5.3. Análisis, usos y aplicaciones del cálculo de volúmenes en minería.                    | 88   |
| 5.4. Campos de acción del software carlson   | 89   |
| CONCLUSIONES   | 91   |
| RECOMENDACIONES  | 93   |
| BIBLIOGRAFÍA   | 94   |
| ANEXOS   | 95   |

## LISTA DE FIGURAS

|  | pág. |
|--|------|
| Figura 1. Localización del proyecto la loma  | 22   |
| Figura 2. Localización mina Pribbenow  | 23   |
| Figura 3. Columna estratigrafica   | 26   |
| Figura 4. Vista en campo de las áreas que representan los puntos de CR, CL y<br>a CF                       | 28   |
| Figura 5. Vista en campo de las áreas que representan los puntos de CF y SH                                | 29   |
| Figura 6. Vista en campo de las áreas que representan los puntos de CM                                     | 29   |
| Figura 7. Vista en campo de las áreas que representan los puntos de RI y el<br>a techo del manto destapado | 30   |
| Figura 8. Fotografía de una cara libre del manto borrego (BO)  | 33   |
| Figura 9. Descarga de puntos del GPS Topcon  | 34   |
| Figura 10. Ruta de acceso al archivo del GPS   | 35   |
| Figura 11. Ruta de destino del archivo del GPS   | 35   |
| Figura 12. Procesamiento de información del GPS  | 36   |
| Figura 13. Observación y verificación de la información.   | 37   |
| Figura 14. Actualización de archivo CSV de excel   | 37   |
| Figura 15. Organización del archivo histórico  | 38   |
| Figura 16. Ventana inicial del Carlson   | 39   |
| Figura 17. Pantalla principal del Carlson  | 40   |
| Figura 18. Ubicación de la herramienta <i>Set Coordinate File</i>  | 41   |
| Figura 19. Creación de un nuevo archivo de coordenadas   | 41   |
| Figura 20. Ubicación de la herramienta <i>Import Text/ASCII File</i>                                       | 42   |
| Figura 21. Parámetros para importar archivo CSV  | 43   |
| Figura 22. Puntos ya leídos por el Carlson   | 43   |
| Figura 23. Activación del módulo de topografía   | 44   |
| Figura 24. Ubicación de la herramienta <i>Field to Finish</i>  | 44   |
| Figura 25. Cuadro de dialogo del <i>Field to Finish</i>  | 45   |
| Figura 26. Códigos del archivo Field to finish de Drummond Ltd.  | 46   |
| Figura 27. Vista de los parámetros que posee cada código   | 46   |
| Figura 28. Puntos ya dibujados   | 47   |
| Figura 29. Verificación de layers  | 47   |
| Figura 30. Área correspondiente a los pisos del manto Borrego  | 49   |
| Figura 31. Creación de filtros para layers   | 50   |
| Figura 32. Organización de layers  | 50   |



|  | pág. |
|--|------|
| Figura 33. Ventana de <i>External References</i>                               | 51   |
| Figura 34. Cuadro de dialogo para seleccionar archivo DWG                      | 51   |
| Figura 35. Ventana de inserción de la referencia                               | 52   |
| Figura 36. Vista de la referencia en los diferentes layers                     | 52   |
| Figura 37. Dibujo del polígono mediante la referencia                          | 54   |
| Figura 38. Sección de dibujo   | 54   |
| Figura 39. Áreas en las que esta subdividida la mina Pribbenow                 | 56   |
| Figura 40. Subdivisión de un polígono a causa de un cambio de área             | 56   |
| Figura 41. Parámetros para dibujo de polígonos de áreas                        | 57   |
| Figura 42. Representación de una línea de perdida (Lost)                       | 58   |
| Figura 43. Área de cuña (Izquierda) y dibujo de polígonos de colores (Derecha) | 60   |
| Figura 44. Triangulación de delaunay   | 62   |
| Figura 45. Triangulación correcta de una nube de puntos                        | 62   |
| Figura 46. Teoría para la creación de una GRID                                 | 63   |
| Figura 47. Extracción de los archivos de piso de carbón.                       | 65   |
| Figura 48. Actualización del archivo histórico de piso de carbón               | 65   |
| Figura 49. Organización para la creación de superficies                        | 66   |
| Figura 50. Configuración para la creación de superficies TIN                   | 67   |
| Figura 51. Configuración para la creación de superficies GRID                  | 68   |
| Figura 52. Visor 3D del software carlson                                       | 69   |
| Figura 53. Verificación de superficies para realización de cálculos            | 72   |
| Figura 54. Configuración del reporte   | 73   |
| Figura 55. Reporte del software (TIN)  | 73   |
| Figura 56. Configuración del reporte   | 74   |
| Figura 57. Reporte del software (GRID)   | 74   |
| Figura 58. Verificación de pisos y techos en el software                       | 76   |
| Figura 59. Identificación de inventario de carbón                              | 76   |
| Figura 60. Demarcación de inventario de carbón                                 | 77   |
| Figura 61. Observación de las propiedades de los polígonos                     | 77   |
| Figura 62. Vista aérea de una pila de carbón.                                  | 79   |
| Figura 63. Organización de puntos y polígonos para cálculo de pilas            | 79   |
| Figura 64. Superficie de base y techo de una pila de carbón                    | 80   |
| Figura 65. Triangulación de techo y piso de una pila superpuestas              | 80   |
| Figura 66. Reporte del cálculo de una pila de carbón                           | 80   |
| Figura 67. Creación de contornos de una pila de carbón                         | 81   |
| Figura 68. Vista de los contornos de la pila con la herramienta Cube           | 82   |
| Figura 69. Superficie topográfica creada mediante TIN (arriba) y GRID (abajo)  | 83   |
| Figura 70. Superposición de una GRID a una TIN                                 | 84   |

|   | pág. |
|---|------|
| Figura 71. Creación de una GRID basada en otra                | 86   |
| Figura 72. Mensaje de alerta cuando no son correctas las GRID | 86   |
| Figura 73. Perfil topográfico creado en carlson               | 87   |
| Figura 74. Análisis posibles con el software carlson          | 88   |

## LISTA DE CUADROS

|  | pág. |
|--|------|
| Cuadro 1. Coordenadas del área de concesión                          | 23   |
| Cuadro 2. Nomenclatura usada para tomar la topografía                | 27   |
| Cuadro 3. Nomenclatura utilizada para nombrar cada manto de carbón   | 30   |
| Cuadro 4. Estructura para nombrar puntos                             | 33   |
| Cuadro 5. Relación de colores con la representación de los polígonos | 70   |
| Cuadro 6. Paralelo de TIN vs GRID                                    | 85   |

## ANEXOS

|   | pág. |
|---|------|
| ANEXO A. Terreno inicial (minería convencional)   | 96   |
| ANEXO B. Formación de un polígono rojo (minería convencional)   | 96   |
| ANEXO C. Formación de un polígono verde (minería convencional)  | 97   |
| ANEXO D. Formación de un polígono amarillo (minería convencional)   | 97   |
| ANEXO E. Formación de un polígono blanco (minería convencional)   | 98   |
| ANEXO F. Terreno inicial (minería por niveles)  | 98   |
| ANEXO G. Formación de polígonos amarillo verde y rojo (minería por niveles)   | 99   |
| ANEXO H. Formación de polígono blanco y rojo (minería por niveles)  | 99   |
| ANEXO I. Convenciones de los bloques  | 100  |
| ANEXO J. Fotografía ilustrativa de techo de carbón y roca intermedia en<br>a minería por niveles  | 100  |
| ANEXO K. CD. Rajeth Castro. Cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de<br>carbón usando el software Carlson, Mina Pribbenow - Drummond Ltd. |      |

Carpetas contenidas en el ANEXO K CD.

1. Rajeth Castro. Cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón usando el software Carlson, Mina Pribbenow - Drummond Ltd. (doc en word).
2. Rajeth Castro. Cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón usando el software Carlson, Mina Pribbenow - Drummond Ltd. (doc en pdf).
3. Portadas, complementarios, capítulos.
4. Presentación de la sustentación.
5. Artículo publinde. Cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón usando el software Carlson, Mina Pribbenow - Drummond Ltd.
6. Cartulina. Cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón usando el software Carlson, Mina Pribbenow - Drummond Ltd.
7. Anuario. Cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón usando el software Carlson, Mina Pribbenow - Drummond Ltd.
8. Ejemplo sobre el Cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón usando el software Carlson, Mina Pribbenow - Drummond Ltd.
9. Planos de AutoCAD; Nube de puntos, Piso del manto borrego y Dibujo de los polígonos de colores.

## RESUMEN

La necesidad e importancia de cuantificar volúmenes de material estéril y de interés, supone un gran reto para la gran minería, ya que la estimación del material disponible y la del ya extraído son la base tanto para el planeamiento minero como para la realización de la estructura de costos en todo el proceso de extracción.

El proyecto busca mostrar la manera en que se calculan volúmenes de estéril e inventarios de carbón usando un software especializado llamado Carlson, el cual funciona tomando como base el AutoCAD y añadiendo características para el diseño y cálculo aplicado al procesamiento y utilización de datos adquiridos.

El desarrollo del tema inicia con una descripción general de la geología y las principales características del yacimiento: seguido del proceso de minado desarrollado en la mina Pribbenow de Drummond Ltd., para la extracción racional de carbón, método de explotación y equipos usados.

Las bases teóricas inician con la nomenclatura utilizada para tomar los datos de topografía en la mina Pribbenow de Drummond Ltd., los datos que estos representan y todo el proceso necesario para la adquisición de información en campo mediante equipos GPS GR-3 y GR-5 de precisión milimétrica.

El siguiente paso consiste en el conocimiento del software Carlson, mostrando el entorno de trabajo, sus características generales y la manera en que procesamos la información adquirida de topografía para que esté disponible para su uso. Entre las características necesarias para el procesamiento de información destacamos el **“Field to Finish”**, herramienta que nos permite procesar información y organizarla en layers según los parámetros con los cuales haya sido tomados en campo.

Una vez adquirida la información, el proceso de dibujo de los polígonos que representan los puntos de topografía es un proceso delicado; proceso en el que debe influir directamente el conocimiento y análisis ingenieril del estado actual de la mina, ya que teniendo una idea global podemos aprobar, anular o corregir parte de la información basados en la realidad que encontramos en campo. Este proceso debe ir acompañado con la familiarización con muchas de las funciones del software.

A continuación ya tendremos la información necesaria para realizar el cálculo de volúmenes de estéril mediante la superposición de superficies que nos representen el cambio topográfico de una superficie anterior a una más reciente. Para este procedimiento el software Carlson crea superficies mediante mallas regulares (**GRID**) y redes irregulares de triángulos (**TIN**).

Los cálculos para carbón se realizan basando el espesor en datos tomados con topografía, esto con el objetivo de minimizar el margen de error ya que en campo se puede observar directamente el espesor que realmente fue extraído; por otra parte las pilas de carbón son calculadas usando la superposición de superficies al igual que los volúmenes de estéril.

Finalmente se realizó un análisis tanto de los métodos para calcular volúmenes mediante superficies como de las ventajas que tiene la utilización del software Carlson no solo en este procedimiento sino en muchos otros campos de la minería y afines.

## INTRODUCCIÓN

En minería, el objetivo principal es la extracción de un mineral de interés de manera racional; esta extracción que se ve acompañada de la necesidad de remover grandes cantidades de estéril que debe realizarse teniendo en cuenta tanto las condiciones del terreno como los instrumentos que tenemos disponibles, buscando siempre el procedimiento más eficiente para realizar minería.

En este ámbito la implementación de nuevas tecnologías informáticas para adquirir tanto facilidad como precisión en los procesos se vuelve una herramienta útil y confiable, que acompañado de un correcto análisis ingenieril lograra un funcionamiento y diseño adecuado para las labores mineras que deseemos desempeñar.

El actual proyecto tiene como finalidad mostrar la manera en que realizan los cálculos de volúmenes e inventarios de carbón con el software Carlson en la mina Pribbenow de Drummond Ltd. En el contenido de este se describirán tanto las bases teóricas como los procedimientos en el programa, con el objetivo que esta guía pueda ser utilizada para la capacitación tanto de estudiantes como profesionales que vayan a dedicarse a trabajar con este software, incluso para resolver dudas de las personas que desempeñen esta actividad.

La metodología a seguir, consiste en inicialmente el estudio, reconocimiento y aprendizaje de las labores topográficas en la mina; seguido del manejo del software Carlson con el cual se procesara dicha información. El cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón se realizara con la asesoría del personal del área de ingeniería. Finalmente se realizara un análisis tanto de los métodos de cálculo como de las características y aplicaciones de esta herramienta en minería y afines.

## **I. INFORME DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL**

### **1. GENERALIDADES**

Las condiciones para el desarrollo de la práctica empresarial se acordaron con la empresa DRUMMOND Ltd. En un contrato que se definió el cargo practicante de ingeniería de minas y posterior asignación al área de ingeniería, dentro de esta área fui ubicado en planeación a corto plazo, donde desempeño las labores de un estudiante en práctica.

Para el ingreso a la empresa fue necesario pasar por un proceso de selección, entrevistas y exámenes que avalaron la aptitud para desempeñar las labores que serían encomendadas; seguidos de una inducción cuyas bases son lecciones para la realización segura de cada una de las actividades que se puedan llegar a ejercer, dando a conocer las políticas de la empresa.

Una vez conocidos estos aspectos inició el desarrollo de las labores: que arranca con el conocimiento de cada una de las áreas de la empresa, los equipos que utilizan, la manera como se lleva a cabo la minería y el plan ambiental. El siguiente paso ya consiste en profundizar en las funciones de aprendizaje que parten desde la obtención de los puntos de topografía del servidor y su respectivo dibujo, el Shoot map (plano diario de localización de voladuras del día con sus respectivas áreas de seguridad), el plano de ubicación de las voladuras ya realizadas, digitalización del carbón descubierto el día anterior (uncover) y el cálculo de volúmenes e inventarios de carbón.

La meta a cumplir luego en este proceso de práctica es complementar la formación integral como futuro ingeniero en minas de la UPTC afianzando los conocimientos adquiridos en el desarrollo de la carrera, resolviendo las dudas que normalmente se presentan y adquiriendo conocimientos más profundos del desarrollo de la minería a gran escala.



## **2. OBJETIVOS DE LA PRACTICA EMPRESARIAL**

### **2.1.OBJETIVO GENERAL:**

Calcular volúmenes de estéril e inventarios de carbón utilizando el software carlson, mostrando las herramientas claves para su correcto desempeño.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Conocer e investigar las generalidades de la mina, sus áreas, su ubicación espacial y la manera en que se lleva a cabo el proceso de minería.
- Revisar la manera en que se obtiene la información topográfica, detallando la nomenclatura utilizada por el departamento de ingeniería de la empresa Drummond Ltd., los criterios necesarios para su correcta interpretación y los fundamentos teóricos necesarios para su aprendizaje.
- Conocer el funcionamiento del software carlson, analizando las herramientas *Field to Finish* y *External References* que son la base para el procesamiento y posterior uso de los datos de topografía.
- Realizar un estudio del proceso de creación de superficies mediante GRID y TIN, comparando tanto la eficiencia como la precisión partiendo de las bases teóricas que usa el software carlson para su creación.
- Calcular volúmenes de estéril utilizando el software carlson, estudiando el procedimiento necesario para su desarrollo.
- Calcular de inventarios de carbón In Situ y en pilas, mostrando todas las implicaciones del proceso y la manera en que se realiza.
- Analizar los resultados obtenidos con el fin de mostrar las ventajas que tiene la utilización de un software especializado en minería para el cálculo de volúmenes tanto de estéril como de inventarios de carbón.

### **3. DESARROLLO DE LA PRACTICA EMPRESARIAL**

#### **3.1.CARGO ASIGNADO**

Cargo: Practicante de Ingeniería de Minas.

Área: Ingeniería.

SubÁrea: Planeación a corto plazo.

#### **3.2.FUNCIONES ASIGNADAS**

- Descarga de puntos de topografía: tiene como objetivo actualizar los puntos tomados por la comisión de topografía. Estas actualizaciones deben realizarse diariamente, descargando los puntos tomados en campo el día anterior y anexándolos a los puntos antiguos.

La responsabilidad de llevar a cabo esta labor es del grupo de actualización diaria, con la colaboración del grupo de topografía que son los encargados de disponer los puntos en su servidor.

- Shots map: consiste en delimitar en un plano el radio de influencia de las voladuras que se realizan cada día, con el fin de que se tomen las medidas necesarias para evitar incidentes a la hora de su ejecución.
- Blasting: consiste en la actualización del mapa de registro de voladuras que debe elaborarse diariamente por el grupo de actualización diaria.

El resultado de seguir este procedimiento será un mapa actualizado con las voladuras que se realizaron el día anterior, de esta manera se va almacenando una base de datos específica donde podemos identificar claramente las voladuras realizadas a cada manto, lugar y fecha de realización, número de voladura y área total volada con su respectiva profundidad.

- Cálculo del carbón descubierto diario (uncover): diariamente se calcula la cantidad de carbón que fue destapada por las palas durante una jornada de trabajo, este cálculo se realiza con datos obtenidos de topografía.
- Realizar cualquier tarea adicional que me fue encomendada.

### 3.3. CAPACITACIONES

Las capacitaciones recibidas se pueden subdividir en dos partes:

➤ Capacitaciones iniciales:

- Capacitaciones de pre-ingreso: consiste en la entrega de manuales con políticas y reglamentos de la empresa que deben ser recibidos, leídos y entendidos antes de firmar el contrato:
  - Reglamento de campamento
  - Reglamento interno de trabajo
  - Reglamento sobre el uso de alcohol y drogas
  - Política de uso de teléfonos celulares
  - Políticas de computación y tecnología relacionada con computadores y uso de los recursos tecnológicos por parte de los empleados
  - Manual de políticas y procedimientos de protección de datos personales
- Capacitaciones de ingreso: son el conjunto de conferencias a las que debe asistirse antes de ser asignado al sitio de trabajo. Estas conferencias son obligatorias para cualquier empleado que vaya a ser contratado:
  - Conferencia de políticas de manejo ambiental
  - Conferencia de salud y seguridad industrial
  - Conferencia de servicios especiales (incluye carnetización)
  - Conferencia de life support (alimentación)

➤ Capacitaciones de área: son las capacitaciones específicas para desempeñar las funciones asignadas para el cargo dispuesto.

Las capacitaciones están a cargo del personal del área de ingeniería, en el cual se maneja un ambiente laboral con amplia amabilidad y unión entre todo el personal. El área consta con 7 ingenieros capacitados en el uso del software Carlson y con amplio conocimiento de todas las labores que se llevan a cabo en la mina. El desarrollo de la capacitación se realiza de acuerdo a las necesidades, la disponibilidad y el plan de trabajo que se preparó previamente en la empresa para el desarrollo de la práctica empresarial.

El periodo de capacitación es acumulativo, ya que a medida que se desarrolla la práctica se usan los conocimientos que se van adquiriendo para realizar funciones o trabajos más complejos que requieren análisis y conocimientos previamente adquiridos.

## **4. APORTES DE LA PRACTICA EMPRESARIAL**

### **4.1. APORTES DE LA EMPRESA A LA FORMACIÓN PROFESIONAL**

La empresa desde el inicio trabajó comprometida con la práctica, brindando una capacitación especializada y específica, iniciando con el desarrollo adecuado de relaciones interpersonales en el sitio de trabajo y fomentando la ética y la responsabilidad en todos los trabajos que se realizan.

En el tiempo de desarrollo de la práctica se abrieron las puertas para el aprendizaje y manejo tanto del software con el que se desarrollan las actividades en la oficina, como de las labores que a diario se desempeñan en planeación a corto plazo; lo que me permitió tanto afianzar los conocimientos adquiridos en el desarrollo de mi carrera como de aprender nuevas cosas que enriquecieron el proceso desarrollado.

La práctica empresarial me permitió crecer como profesional y como persona, fortaleciendo mis principios de responsabilidad, amabilidad, ética, trabajo en equipo y puntualidad, entre otros.

### **4.2. APORTES DE LA PRACTICA A LA EMPRESA**

Como practicante se desarrollan cada una de las funciones que son asignadas, colaborando en la medida de lo posible al desarrollo de actividades que se realizan en el área de ingeniería.

En el marco del desarrollo del proyecto se analizaron los métodos de trabajo en lo concerniente al cálculo de volúmenes, partiendo desde la teoría; por medio de este estudio se realizaron algunas sugerencias para la optimización de algunos procesos de cálculo en cuanto al trabajo con superficies de terreno y cálculo de volúmenes.

## **II. INFORME TÉCNICO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL**

### **1. GENERALIDADES DE LA MINA**

#### **1.1. LOCALIZACIÓN Y RASGOS GENERALES**

El área de localización del proyecto carbonífero se ubica en jurisdicción de los municipios de La Jagua de Ibirico, El Paso y Chiriguana en el Departamento del Cesar, aproximadamente a 15 kilómetros al Este del corregimiento de La Loma (municipio de El Paso) (ver figura 1 y 2).

Desde el punto de vista de competencia y administración del medio ambiente, el área de estudio se encuentra en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Cesar "CORPOCESAR". La Licencia Ambiental se encuentra en el MAVDT.

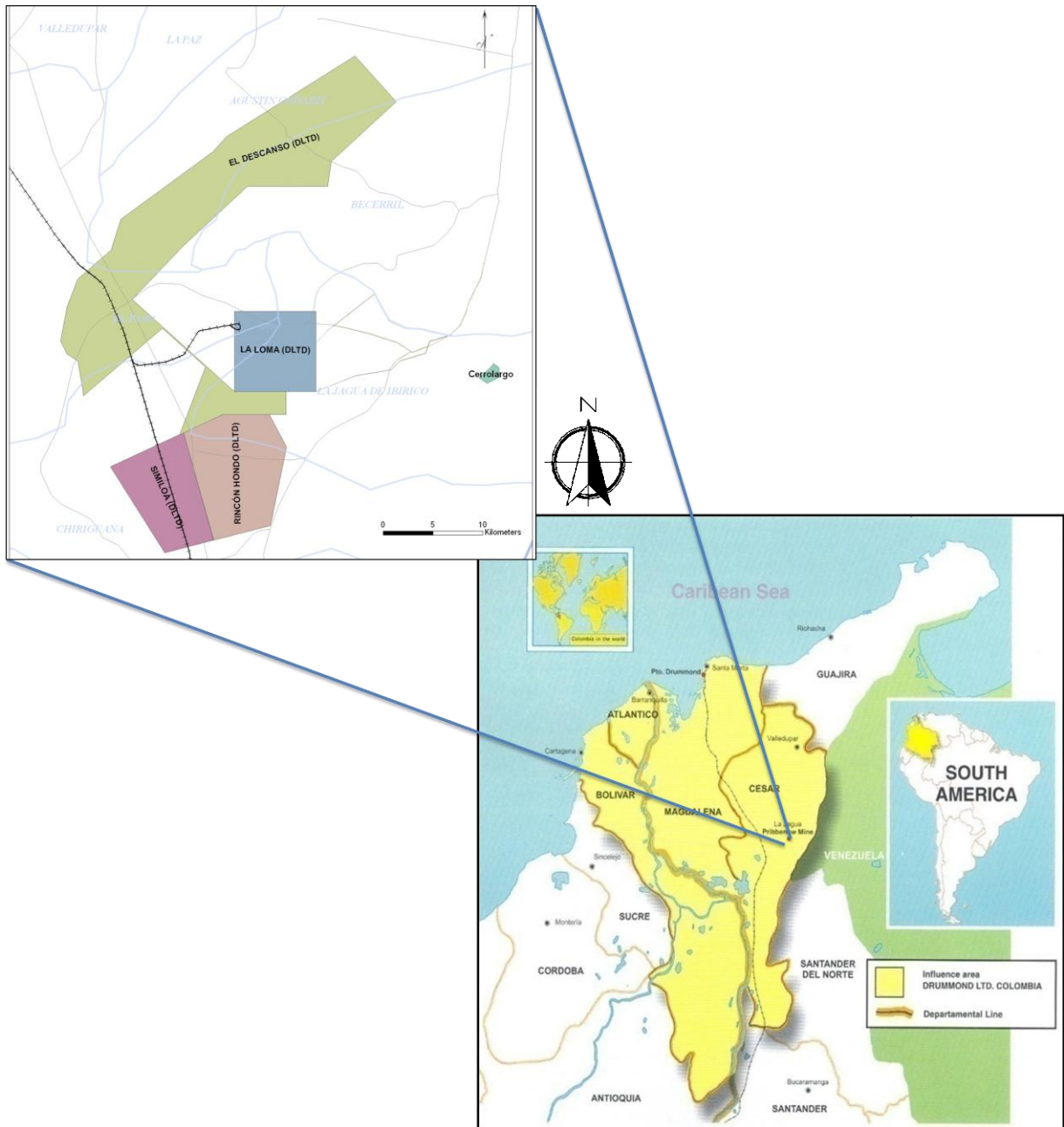
El área total de la concesión minera otorgada por el Ministerio de Minas y Energía, es de 5740 Hectáreas (ver cuadro 1).

#### **1.2. Vías de acceso:**

La principal vía de comunicación es la carretera troncal de Caribe que se localiza aproximadamente a un kilómetro del corregimiento de La Loma. Por esta vía y aproximadamente a 6 kilómetros al Sur de La Loma, Drummond construyó la vía de acceso que empalma esta carretera principal con el área de explotación del proyecto, con una longitud de aproximadamente de 18 kilómetros. A través de esta vía se permite el acceso de algunos vecinos del área del proyecto con lo que la vía se presenta como de servidumbre de uso limitado.

Las vías internas han sido diseñadas y construidas de acuerdo al plan de minería y con un criterio típico de explotación minera. Los vehículos que transitan estas vías son de la compañía y son los utilizados en todas las labores que tienen relación con la operación del Proyecto Carbonífero.

**Figura 1.** Localización del proyecto la loma



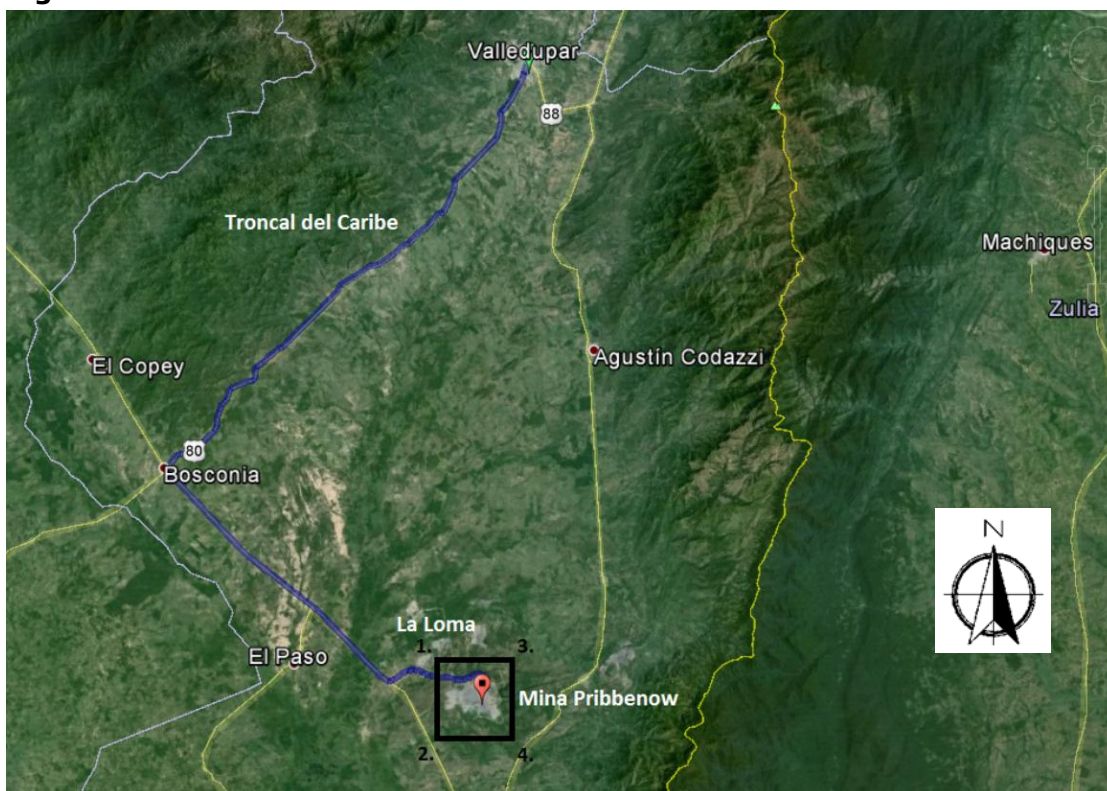
Fuente. Datos suministrados por Drummond Ltd.

**Cuadro 1.** Coordenadas del área de concesión

| EXTREMO   | Coordenada N | Coordenada E | Punto |
|-----------|--------------|--------------|-------|
| Nor-Oeste | 1°553.500    | 1°061.200    | 1     |
| Nor-Este  | 1°553.500    | 1°069.400    | 2     |
| Sur-Oeste | 1°545.500    | 1°061.200    | 3     |
| Sur-Este  | 1°545.500    | 1°069.400    | 4     |

Fuente. Datos suministrados por Drummond Ltd.

**Figura 2.** Localización mina Pribbenow



Fuente. Google Earth y datos de Drummond Ltd.

### 1.3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

El bloque de minería objeto de este estudio, pertenece al contrato 078-88 y su estructura geológica pertenece al flanco oriental del sinclinal del Boquerón. Cuenta con 16 mantos explotables, con espesores que varían entre 0.5 m y 8.0 m, que tienen una pendiente comprendida entre el 5 y el 18% (ver figura 3).

**Formación Molinos:** esta formación, fue sedimentada posiblemente en ambientes de una línea de mares transicional cercana a la costa, o un ambiente lacustre costero. Litológicamente, está compuesto por lutitas y arcillolitas de color gris a negro, en parte son calcáreas y están asociadas con algunas areniscas ínter -

estratificadas de color gris y grano fino a medio, micáceas o arcillosas. En la parte superior de la formación se presentan delgados mantos de carbón (M.K.S., 1990).

**Terciario Inferior - Formación Barco:** Esta formación, corresponde a la secuencia de bancos de 5 a 20 metros de espesor, de areniscas masivas, cuarzo micáceas, de color gris y de grano fino a grueso, localmente carbonosas; el espesor de esta formación varía entre 76 y 278 metros. Los depósitos de ésta formación, se asocian con condiciones transicionales de un ambiente marino o un ambiente continental. Se estima que corresponde en edad, al paleoceno inferior.

**Terciario Medio - Formación Los Cuervos:** Esta formación, descansa discordantemente sobre la formación Barco, y constituye la formación portadora de los mantos de carbón. El espesor de esta formación varía en el área adyacente a la Mina entre 1000 y 1300 metros, variando en otras regiones entre 280 y 1600 metros. Los reportes suelen dividir esta formación en tres unidades.

**Unidad Inferior:** Compuesta por arcillolitas de color gris a negro, con intercalaciones de arenisca. Los mantos de carbón presentes, tienen menos de 0.6 metros, por lo que carecen de interés económico. El espesor promedio se estima en 280 metros (INGETEC, 1991; M.K.S.1990).

**Unidad Intermedia:** Constituye la unidad carbonífera de la formación y el espesor promedio se estima en 480 metros. Litológicamente está compuesto por una secuencia de arcillolitas (40%), limolitas y arenisca (30%), y mantos de carbón (13%). Las arcillolitas, limolitas y areniscas, se presentan intercaladas y separan los mantos de carbón (INGETEC, 1991).

**Unidad Superior:** Esta unidad está conformada por areniscas cuarzo - micáceas de color gris claro a medio, de grano fino y con intercalaciones de limolita. En la parte superior de la formación, se presenta un dominio de arcillolitas y limolitas de color gris con nódulos limolíticos y tonalidades verdes, rojas, y amarillas, descritas como arcillolitas abigarradas. Se estima que el espesor promedio de esta unidad es de 220 metros (INGETEC, 1991).

**Terciario superior - Formación Cuesta:** Esta formación descansa discordantemente sobre la formación Los Cuervos. Litológicamente está compuesta por un conglomerado basal, sobre el que permanece una secuencia de areniscas, de grano medio a conglomerático, cuarzo - micáceas de colores rojizos. Los estratos arcillosos son de colores rojos y pardos (INGETEC, 1991; (M.K.S.1990).

**Cuaternario, depósitos de Terraza:** Estos depósitos son zonas remanentes de terrazas fluviales pleistocénicas, testigos de los diferentes cauces trabajados durante distintas épocas por el río Cesar y sus tributarios. Los depósitos reposan



discordantemente sobre los sedimentos pre y pleistocénicos, compuestos por areniscas cuarzosas conglomeráticas de color café a café rojizo oscuras. El espesor puede variar entre 30 y 50 metros (M.K.S.1990).

**Aluviones recientes:** Estos depósitos, cubren el área con ligeras variaciones de espesor y composición. Se pueden distinguir cuatro niveles: dos arcillosos; y dos arenosos. Los niveles arcillosos, están constituidos por arcillas plásticas de color rojo, ricas en óxidos de hierro. Los niveles arenosos, son de color pardo, grano medio a grueso, poco cementados, y con presencia de cantos de cuarzo, chert, cuarcitas y rocas ígneas de grano fino (INGETEC, 1991).

#### **1.4. MINERÍA**

En cuanto a desarrollo se utiliza una draga que se encarga de remover toda la capa de material aluvial, los camiones son cargados por medio de alimentadores blindados ya que esta no puede cargarlos directamente.

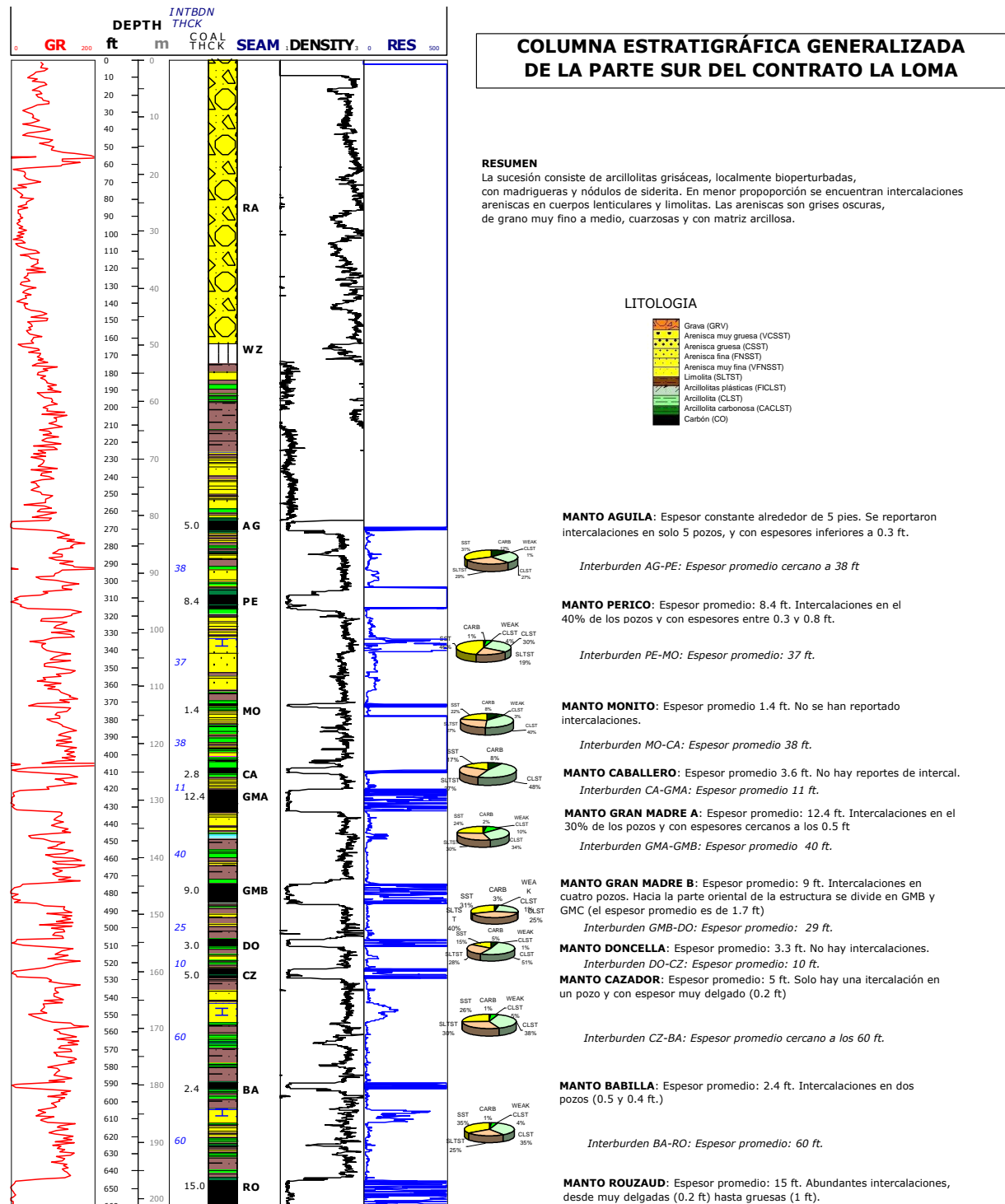
El sistema de explotación utilizado en la mina es el llamado “pala-camión”, donde las palas trabajan en bancos de hasta 16 metros, cargando el material dejado por la draga o la roca ya volada que superpone el manto que se desea extraer; actualmente se cuenta con 14 palas operativas y 140 camiones con una disponibilidad física del 80 al 85%.

En la mina se utilizan dos métodos de explotación diferentes, que van a depender del buzamiento de los mantos o de condiciones del terreno, en mantos con poca inclinación (inferior al 10%) se emplea minería convencional (de pared alta a pared baja) en la cual se avanza la explotación con el buzamiento del manto.

En mantos inclinados o verticales se emplea explotación por bancos, cuyas dimensiones son aproximadamente de 70 metros de ancho (mínimo) y 7 metros de alto, buscando siempre la manera óptima de extraer el carbón.

Las voladuras se realizan dependiendo del método de explotación, la profundidad que tienen las perforaciones o si es necesaria más de una voladura para acceder a un manto, la dureza del material y basados en la experiencia obtenida a lo largo del proyecto se diseña la maya de perforación y voladura. La proporción de explosivos es de aproximadamente un 70% explosivo y 30% de emulsión.

**Figura 3.** Columna estratigráfica representativa a partir de perforación realizada al sur del caño de san Antonio.



Fuente. Datos suministrados por Drummond Ltd.

## 2. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

En la mina la información topográfica es tomada a diario por 3 comisiones de topografía, las cuales trabajan con equipos GPS de tipo GR-3 y GR-5 de precisión milimétrica. Cada comisión consta de 2 personas capacitadas tanto en topografía como en la ejecución de la toma correcta y precisa de la información requerida, se transportan en una camioneta de propiedad de la empresa en turnos continuos de casi 10 horas.

La información recolectada es avalada por un topógrafo a cargo de las tres comisiones, quien corrobora la información suministrada, la procesa y la pone a disposición de la oficina de ingeniería para su uso en los trabajos que sea necesaria.

Es necesario tener en cuenta que para procesar toda la información recolectada tanto en el software como en la interpretación ingenieril, debemos tener conocimiento del estado actual de la mina con el fin de identificar los puntos que son señalados; es necesario visitar campo para tener una imagen global o para corroborar algunos datos.

### 2.1. NOMENCLATURA Y DEFINICIONES

Dentro del marco de representar digitalmente el estado actual de un terreno, el primer paso es reconocer en campo la característica que deseamos representar, para de esta manera estandarizar y organizar toda la información que será recolectada y posteriormente procesada.

En la empresa Drummond Ltd. se trabaja con la nomenclatura especial (ver cuadro 2).

**Cuadro 2.** Nomenclatura usada para tomar la topografía

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <b>CR (Coal Roof)</b>             | Puntos que describen el techo del manto de carbón.  |
| <b>CL (Coal low o cara libre)</b> | Puntos que describen el techo del manto de carbón por la cara libre.  |
| <b>CF (Coal floor)</b>            | Puntos que describen el piso del manto de carbón.   |
| <b>CM (Coal Medium)</b>           | Puntos que describen la zona en que el carbón no se ha extraído en su totalidad y sólo se han llevado alguna porción de su espesor. |
| <b>SH (Shot)</b>                  | Puntos que contornean la voladura que se realizará.   |
| <b>RI (Roca Intermedia)</b>       | Puntos tomados en la roca excavada por las palas y equipos auxiliares que aún no ha llegado a el techo de carbón.                   |
| <b>AE (Equipo auxiliar)</b>       | Son todos aquellos equipos diferentes a las palas que se usan para  |

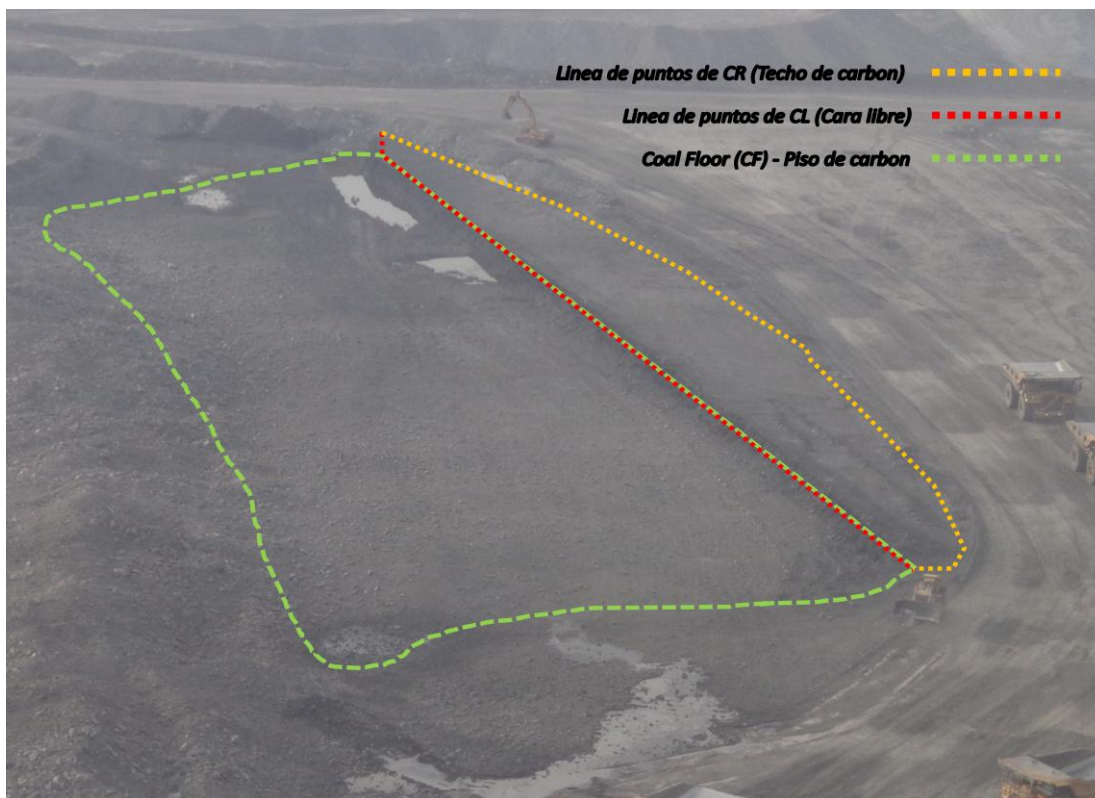
Cuadro 2. (Continuación) Nomenclatura usada para tomar la topografía

|                    |  |
|--------------------|--|
|                    | remoción de carbón o de roca.  |
| <b>FT (Pies)</b>   | Unidad de medida usada para medir la profundidad de cada <i>hole</i> realizado para la voladura.   |
| <b>C (coal)</b>    | Inicial de carbón usado antes o después de su espesor en el descriptor de los puntos.  |
| <b>P (parting)</b> | Intrusión de roca identificada en campo cuando se ha realizado la remoción de material, es usado para el cálculo del inventario de carbón y viene seguido de su espesor. |
| <b>Lo (lost)</b>   | Puntos tomados en las zonas que se perdió carbón por mal manejo de los equipos, por quema, por deslizamientos, entre otros.  |

Fuente. Datos suministrados por Drummond Ltd.

Identificar las áreas que representan los puntos de topografía es una parte vital para la referenciación de la información que luego va a ser procesada. Las fotografías de campo son de gran apoyo tanto para obtener información a la hora de realizar cálculos como para comparar datos y resultados de los trabajos que realicemos (ver figuras 4, 5, 6 y 7).

**Figura 4.** Vista en campo de las áreas que representan los puntos de CR, CL y CF



Fuente. Resultado de la investigación

**Figura 5.** Vista en campo de las áreas que representan los puntos de CF y SH



Fuente. Resultado de la investigación

**Figura 6.** Vista en campo de las áreas que representan los puntos de CM



Fuente. Resultado de la investigación



**Figura 7.** Vista en campo de las áreas que representan los puntos de RI y el techo del manto destapado



Fuente. Resultado de la investigación

Para los mantos de carbón se utiliza una abreviación tanto en el software como en la mayoría de los planos; así mismo se utilizan nomenclaturas para designar los layers de las superficies o áreas que existen y que nos proponemos a actualizar (ver cuadro 3).

**Cuadro 3.** Nomenclatura utilizada para nombrar cada manto de carbón

|                |     |   |
|----------------|-----|---|
| River Alluvium | RA  | Corresponde a la capa de material aluvial               |
| La Loma 1      | LA1 | Manto la Loma 1   |
| La Loma 2      | LA2 | Manto la Loma 2   |
| Águila Rider   | AGR | Manto Águila Rider                                      |
| Águila         | AG  | Manto Águila  |
| Perico         | PE  | Manto Perico  |
| Monito         | MO  | Manto Monito  |
| Caballero      | CA  | Manto Caballero   |
| Gran Madre     | GM  | Manto Gran Madre  |
| Gran Madre A   | GMA | Primera capa de carbón en que se subdivide el manto GM. |

**Cuadro 4. (Continuación) Nomenclatura utilizada para nombrar cada manto de carbón**

|               |     |  |
|---------------|-----|--|
| Gran Madre B  | GMB | Segunda capa de carbón en que se subdivide el manto GM |
| Gran Madre C  | GMC | Tercera capa de carbón en que se subdivide el manto GM |
| Doncella      | DO  | Manto Doncella   |
| Cazador       | CZ  | Manto Cazador  |
| Rouzaud       | RO  | Manto Rouzaud  |
| Rouzaud A     | ROA | Primera capa de carbón en que se subdivide el manto RO |
| Rouzaud B     | ROB | Segunda capa de carbón en que se subdivide el manto RO |
| Borrego Rider | BOR | Manto Borrego Rider                                    |
| Borrego       | BO  | Manto Borrego  |
| Borrego A     | BOA | Primera capa de carbón en que se subdivide el manto BO |
| Borrego B     | BOB | Segunda capa de carbón en que se subdivide el manto BO |
| Borrego C     | BOC | Tercera capa de carbón en que se subdivide el manto BO |

Fuente. Datos suministrados por Drummond Ltd.

## **2.2.DESCARGA E IDENTIFICACION DE PUNTOS**

Una vez conocida la información que debemos recolectar es importante utilizar un orden lógico para clasificar esta información. Primero que todo debemos tener claro que datos se toman con el GPS; con este tomamos coordenadas este, coordenadas norte, elevaciones y la descripción del punto tomado.

Para que la información sea correctamente procesada la descripción del punto tomado debe realizarse en un orden específico, que permita al carlson software leer y organizar toda la información suministrada. El orden usado es el siguiente:

Primero se pone la abreviación del manto, por ejemplo el manto borrego se representa como BO.

En segundo lugar y separado por un guion de piso (\_) se pone el tipo de punto que se representa, ya sea un CL, CR, CM, CF, SH, LO o una RI.

Consecutivamente en tercer lugar y separado por un slash (/) se abrevia la fecha (mm/dd) excepto en los puntos de SH que se explicara a continuación.

Por último se debe poner de acuerdo al tipo de punto una característica específica:

Puntos de CL, CR, LO y RI: se pone el nombre del equipo que destapo el carbón o que removió la roca donde se perdió, ya sea AE o SH, y en el caso de las palas los dos últimos números del número del equipo.

Puntos de CM y CF: los topógrafos en campo deben observar si el manto presenta intercalaciones (parting) y el espesor que posee el manto antes y después de esta para denotarlo en el código en el orden que se presenta en campo. Por ejemplo si se presenta continuo el carbón 1 metro antes de un parting se pondrá C1, si el parting que se presenta es de 20 cm se pondrá P0.20 y así sucesivamente.

Puntos de SH: en estos puntos se pone el número del consecutivo de la voladura entre paréntesis “( )” antes de la fecha sin omitir el slash que va después de la nomenclatura del punto que se representa. En estos puntos luego de la fecha se pone la profundidad del pozo donde se tomó cada punto, el cual es medido en pies y se notara FT el cual ira pegado a la fecha y después del cual seguirá el valor de los pies perforados, FT19 por ejemplo para una perforación de 19 pies.

Existen circunstancias en las que se presentan situaciones propias de la minería, tales como fallas, discontinuidades, intrusiones, entre otros; estos se nombran al final de la descripción y se da aviso de las características del punto tomado para que al momento de ser procesado se trabaje correctamente.

Un ejemplo de puntos ya nombrados para cada caso en el manto borrego son los siguientes:

Caso descrito: un carbón del manto borrego el cual fue volado el día primero de marzo a una profundidad promedio de 25 pies, la voladura fue la número 221 del año en curso, luego de eso fue destapado por la pala 36 el día cinco de marzo, el carbón presentaba un parting de 30 cm, donde la capa superior de carbón era de 2 metros y la capa inferior era de 1.5 metros (ver figura 8). El carbón se perdió en un punto por causas desconocidas hasta el momento (ver cuadro 4).

Es necesario siempre tener presente que pueden presentarse casos especiales en los que la nomenclatura de los puntos adquiere un valor especial, el cual dependerá de la situación y debe constatarse con la comisión de topografía para su correcto análisis; un ejemplo de estos casos son las zonas de falla las cuales deben ser analizadas a detalle para prever el comportamiento que tendrán los mantos.



**Cuadro 5.** Estructura para nombrar puntos

|          |                      |
|----------|----------------------|
| Punto CL | BO_CL/0305SH36       |
| Punto CR | BO_CR/0305SH36       |
| Punto LO | BO_LO/0305SH36       |
| Punto CM | BO_CM/0305C1         |
| Punto CF | BO_CF/0305C1P0.3C0.7 |
| Punto SH | BO_SH/(221)0301FT25  |

Fuente. Datos suministrados por Drummond Ltd.

**Figura 8.** Fotografía de una cara libre del manto borrego (BO)



Fuente. Resultado de la investigación

### **Recolección y descarga de datos:**

Los dispositivos GPS TOPCON GR-3 y GR-5 para funcionar constan de: una base, cuyas coordenadas ya fueron calculadas exactamente y es de donde se amarra la señal al satélite y a la vez se conecta con el dispositivo móvil para realizar la captación precisa de puntos. El dispositivo móvil consta de dos partes, una antena o receptor de la señal de la base y un colector que funciona con Windows Mobile y que es donde se almacena toda la información recopilada por cada comisión durante el día; el colector recibe la señal de la antena vía bluetooth.

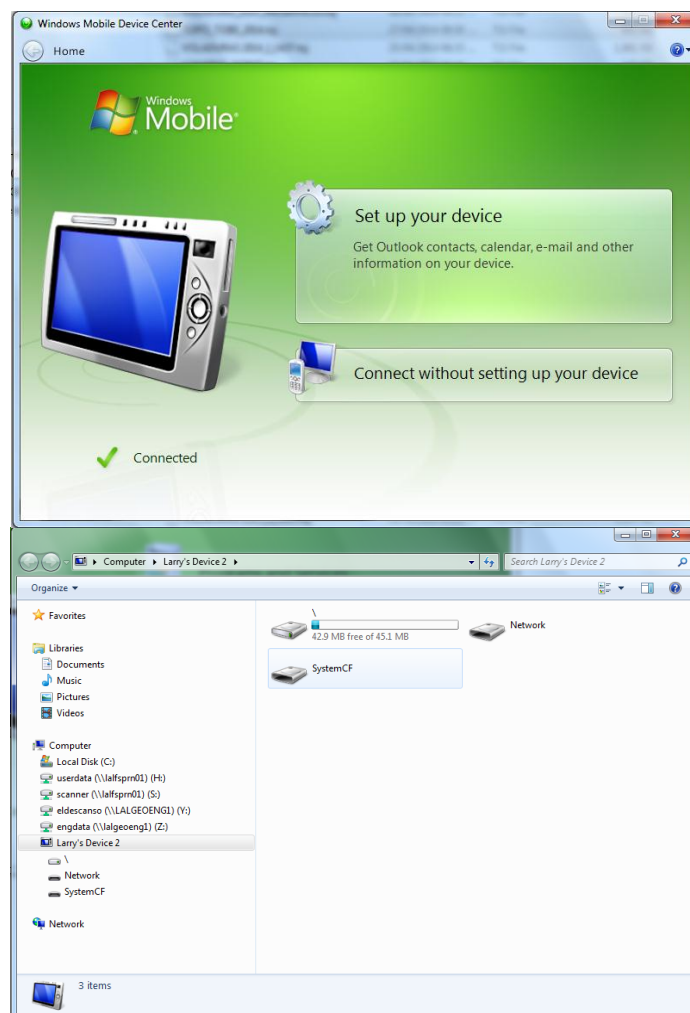
Los datos son bajados del colector al final de cada día mediante el siguiente procedimiento:

La descarga de datos desde el equipo GPS TOPCON GR-3 se realiza utilizando el software TopSURV, y se divide en dos etapas como se describe a continuación:

### **PRIMERA ETAPA (Descarga de puntos desde dispositivo móvil)**

Se conecta el dispositivo en modo stand by con el cable USB que viene adjunto y se despliega la ventana de asociación (ver figura 9).

**Figura 9.** Descarga de puntos del GPS Topcon



Fuente. Resultado de la investigación

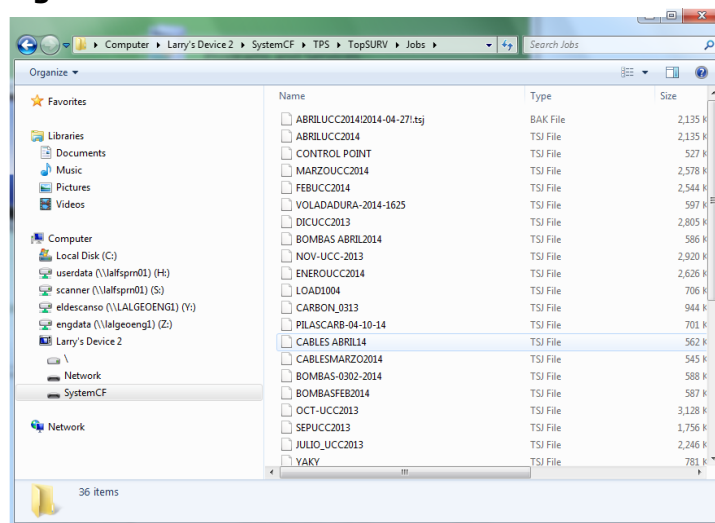
Luego se procede a explorar el receptor. Seguidamente se abren los archivos del dispositivo siguiendo la ruta que se indica (ver figuras 10 y 11):

En la carpeta TopSURV se encuentran todos los archivos de configuración y almacenamiento de información del dispositivo móvil y en la carpeta Jobs se encuentran los archivos más recientes utilizados en campo.

De esta carpeta se copian los archivos utilizados durante el transcurso del turno, es decir en los que se almacenaron nuevos datos (el nombre del archivo es suministrado por la comisión que lo tomo) y por último se desconecta el equipo.

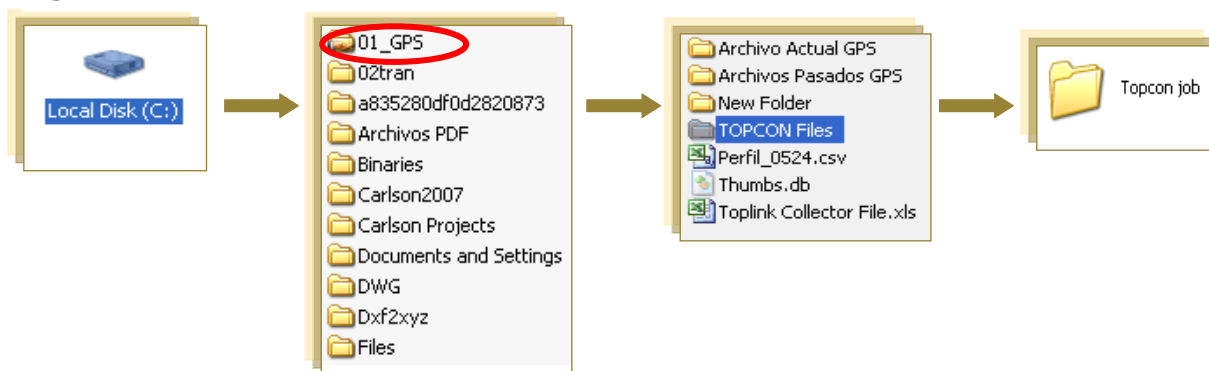
Los archivos anteriormente seleccionados desde el dispositivo móvil son pegados en una ruta fija que se destine para este fin (ver figura 11).

**Figura 10.** Ruta de acceso al archivo del GPS



Fuente. Resultado de la investigación usando el software del GPS

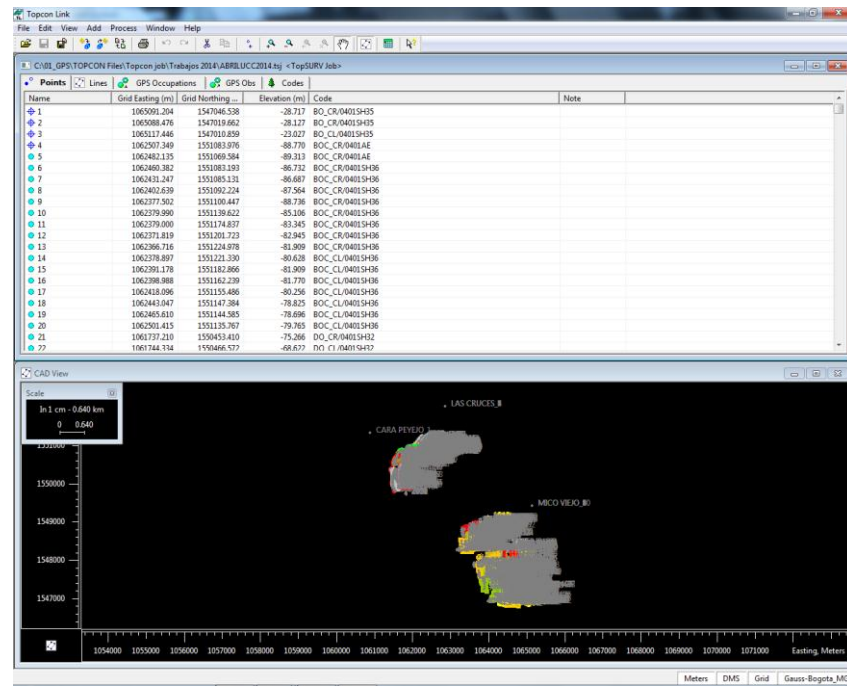
**Figura 11.** Ruta de destino del archivo del GPS



Fuente. Fuente. Resultado de la investigación

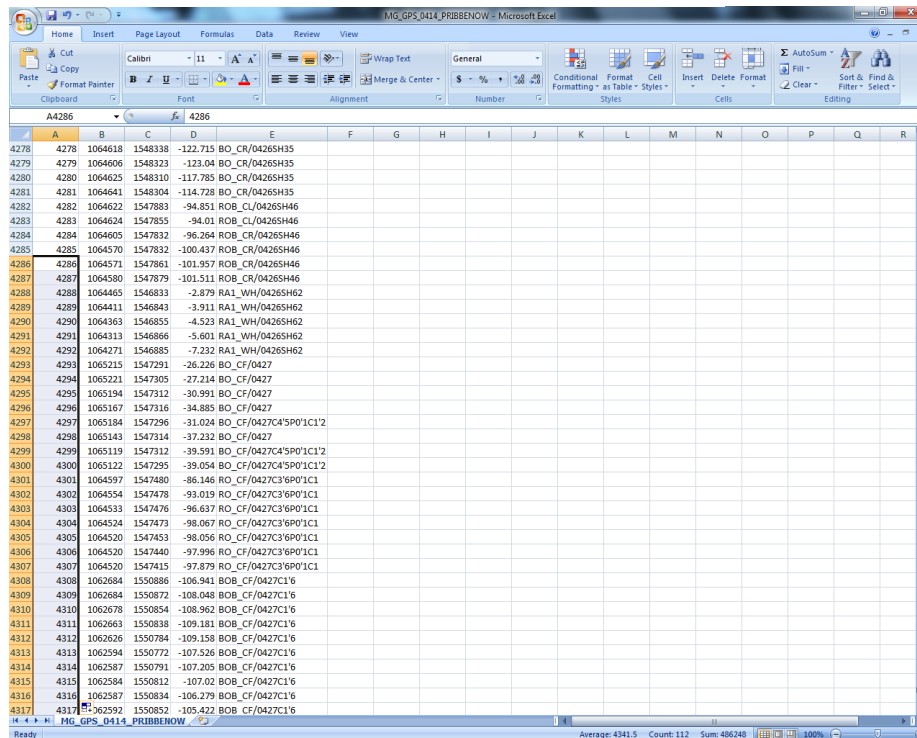


**Figura 13.** Observación y verificación de la información.



Fuente. Resultado de la investigación usando el software del GPS

**Figura 14.** Actualización de archivo CSV de excel



Fuente. Resultado de la investigación usando el software del GPS

En la oficina de ingeniería se posee un archivo de Excel propio, el cual es actualizado diariamente añadiéndole los puntos que se tomaron solo en ese día y añadiendo en la primera columna una G y el año y la fecha abreviados (aa/mm) antes del número consecutivo de cada punto (ver figura 15).

**Figura 15.** Organización del archivo histórico

|      | A        | B           | C           | D        | E                | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S |
|------|----------|-------------|-------------|----------|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4262 | G1404426 | 1063723.213 | 1547870.73  | -6.863   | LA1_CF/0426C2.3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4263 | G1404426 | 1064482.453 | 1547161.705 | -34.015  | GMA_CF/0426      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4264 | G1404426 | 1064489.862 | 1547197.786 | -33.603  | GMA_CF/0426      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4265 | G1404426 | 1064493.063 | 1547229.058 | -33.223  | GMA_CF/0426      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4266 | G1404426 | 1064495.72  | 1547248.743 | -32.308  | GMA_CF/0426      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4267 | G1404426 | 1064459.938 | 1547244.126 | -38.127  | GMA_CF/0426      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4268 | G1404426 | 1064416.829 | 1547244.903 | -45.496  | GMA_CF/0426C4    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4269 | G1404426 | 1064415.175 | 1547218.562 | -45.3    | GMA_CF/0426C4    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4270 | G1404427 | 1064415.676 | 1547194.795 | -44.906  | GMA_CF/0426C4    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4271 | G1404427 | 1064415.026 | 1547176.423 | -44.479  | GMA_CF/0426C4    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4272 | G1404427 | 1064414.713 | 1547157.528 | -44.018  | GMA_CF/0426C4    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4273 | G1404427 | 1064678.198 | 1548307.42  | -111.223 | BO_CL/0426SH35ND |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4274 | G1404427 | 1064671.776 | 1548328.399 | -113.219 | BO_CL/0426SH35ND |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4275 | G1404427 | 1064652.084 | 1548362.548 | -117.362 | BO_CL/0426SH35ND |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4276 | G1404427 | 1064638.029 | 1548370.161 | -121.538 | BO_CL/0426SH35ND |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4277 | G1404427 | 1064624.606 | 1548370.021 | -122.605 | BO_CR/0426SH35   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4278 | G1404427 | 1064618.456 | 1548338.105 | -122.715 | BO_CR/0426SH35   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4279 | G1404427 | 1064605.571 | 1548322.936 | -123.04  | BO_CR/0426SH35   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4280 | G1404428 | 1064625.323 | 1548310.051 | -117.785 | BO_CR/0426SH35   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4281 | G1404428 | 1064640.984 | 1548303.858 | -114.728 | BO_CR/0426SH35   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4282 | G1404428 | 1064621.768 | 1547883.357 | -94.851  | ROB_CL/0426SH46  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4283 | G1404428 | 1064624.199 | 1547854.687 | -94.01   | ROB_CL/0426SH46  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4284 | G1404428 | 1064604.615 | 1547831.582 | -96.264  | ROB_CR/0426SH46  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4285 | G1404428 | 1064570.267 | 1547831.922 | -100.437 | ROB_CR/0426SH46  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4286 | G1404428 | 1064571.136 | 1547861.29  | -101.957 | ROB_CR/0426SH46  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4287 | G1404428 | 1064579.822 | 1547878.966 | -101.511 | ROB_CR/0426SH46  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4288 | G1404428 | 1064465.383 | 1546833.388 | -2.879   | RA1_WH/0426SH62  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4289 | G1404428 | 1064410.986 | 1546843.08  | -3.911   | RA1_WH/0426SH62  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4290 | G1404429 | 1064362.76  | 1546854.993 | -4.523   | RA1_WH/0426SH62  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4291 | G1404429 | 1064313.006 | 1546866.023 | -5.601   | RA1_WH/0426SH62  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4292 | G1404429 | 1064271.399 | 1546884.953 | -7.232   | RA1_WH/0426SH62  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Fuente. Resultado de la investigación usando el software del GPS

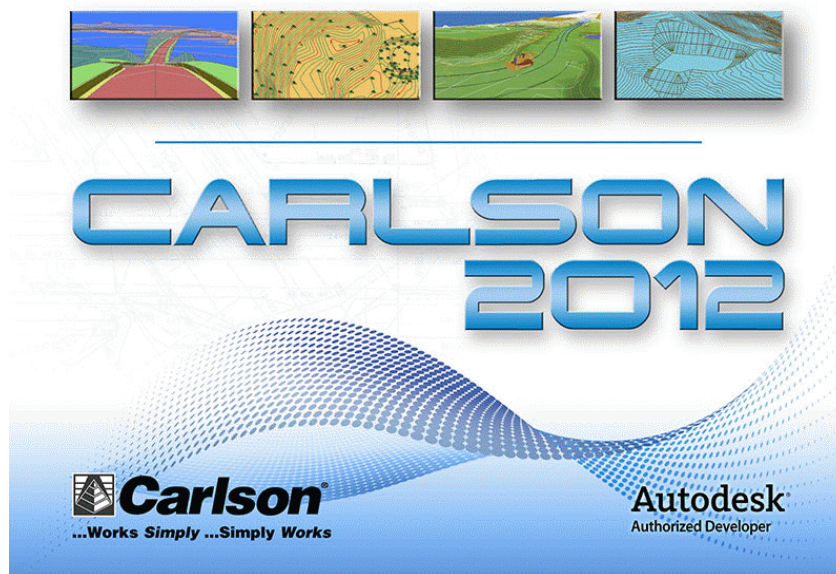


### 3. SOFTWARE CARLSON

Carlson es un software de aplicación para el desarrollo de la tierra, ingeniería civil, topografía, construcción, GIS (**Geographic information system**) e ingeniería de minas que se ejecuta con AutoCAD e IntelliCAD. El motor de CAD sirve como el motor gráfico y editor de dibujo para Carlson (ver figura 16).

Carlson se compone de los siguientes programas o módulos: Survey, Civil, Hydrology, GIS, Field, Takeoff, Construction, Natural Regrade, Point Clouds, Basic Mining, Geology, Underground Mining and Surface Mining. Cada uno de estos programas se puede ejecutar de forma independiente o en conjunto con otro u otros.

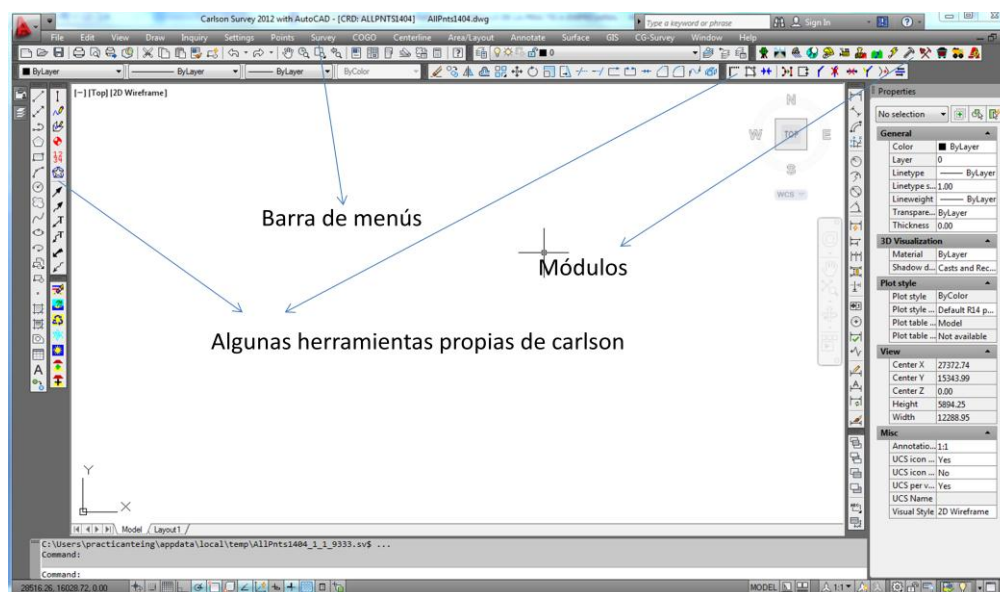
**Figura 16.** Ventana inicial del Carlson



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

El funcionamiento del software en cuanto a la parte general es muy similar a AutoCAD, añadiendo herramientas especializadas que permiten el mejor manejo de información o para facilitar algunos trabajos (ver figura 17); además de eso cada uno de los módulos brinda herramientas especializadas para realizar diseños y cálculos complejos dependiendo al trabajo que deseamos realizar, de esta manera se hace posible trabajar interactuando con cada una de las posibilidades que nos brinda esta herramienta.

**Figura 17.** Pantalla principal del Carlson



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

### 3.1. LECTURA DE PUNTOS DE TOPOGRAFÍA EN EL SOFTWARE CARLSON

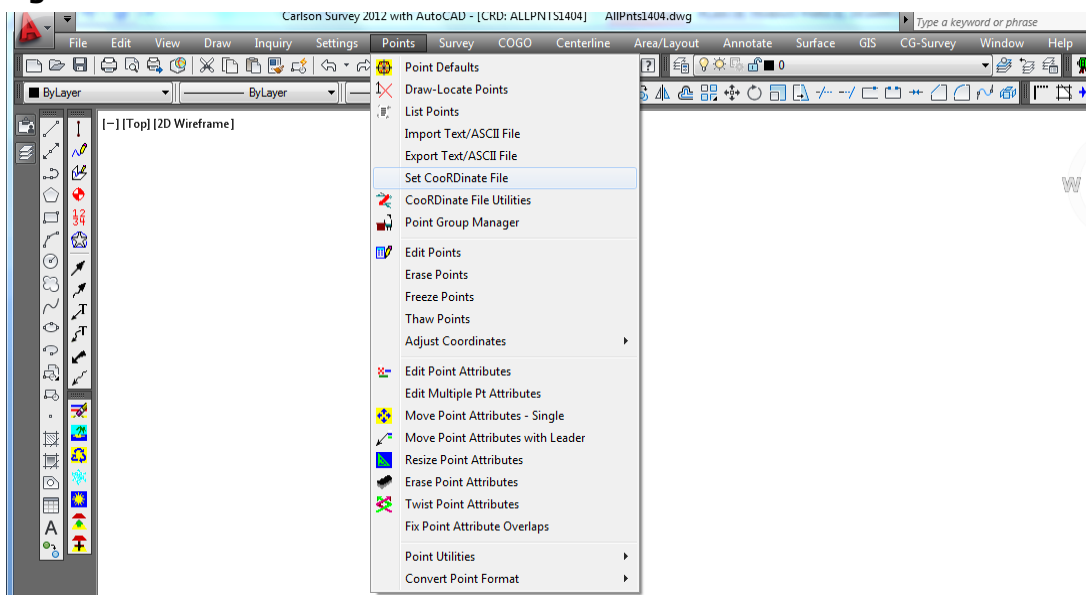
El software carlson trabaja los archivos de puntos en formatos CSV o .dat; los puntos que anteriormente fueron descargados se guardan en estos formatos para que puedan ser leídos por el software (Excel tiene la opción de guardar los archivos como CSV).

Una vez tenemos correctamente ordenado y nombrado el archivo de puntos proseguimos a leerlos con el software carlson, para ello nos vamos al menú **Points**, y clicamos la opción **Set Coordinate File** (ver figura 18) que hace referencia a especificar el nombre archivo de coordenadas en el cual almacenaremos la información que vamos a dibujar, como en este caso nuestro archivo siempre posee todos los puntos del mes creamos un archivo nuevo de coordenadas, sobrescribiendo el archivo dibujado el día anterior ya que este último será el más actualizado (ver figura 19). Es posible actualizar el archivo de coordenadas existentes, pero puede generar errores futuros a la hora de completar los archivos existentes.

Como el archivo de puntos que vamos a leer posee toda la información en lo que va corrido del mes, lo nombraremos AllPoints seguido de la fecha (año y mes abreviado); para este ejemplo trabajaremos el mes de abril y sería: **AllPoints1404**, haciendo alusión a todos los puntos de topografía que se han tomado en lo que va corrido del mes de abril que estaría en curso.

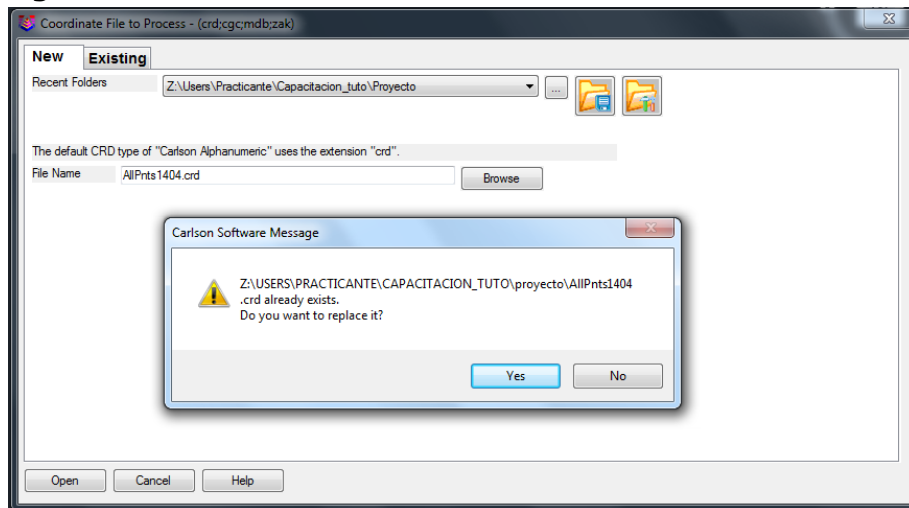


**Figura 18.** Ubicación de la herramienta *Set Coordinate File*



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 19.** Creación de un nuevo archivo de coordenadas



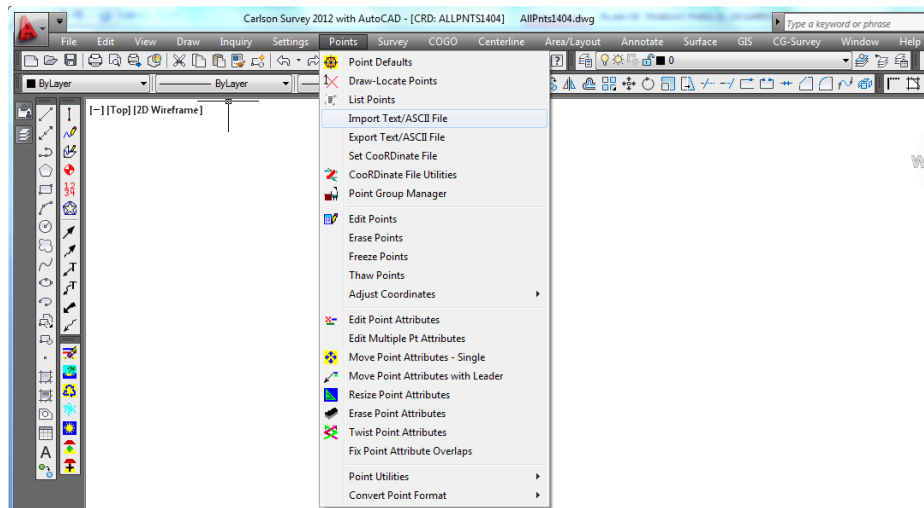
Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

A continuación proseguimos a leer el archivo de coordenadas donde tenemos los puntos, nos vamos al menú **Points** y clicamos la opción **Import Text/ASCII File** (ver figura 20).

En esta ventana seleccionamos **Select Text/ASCII File** y buscamos la ruta donde guardamos el archivo CSV que tiene almacenado los puntos. Luego de abrir el archivo de puntos proseguimos a verificar que estén correctamente las otras opciones; el orden con el que tenemos el archivo de coordenadas es P = número

del punto, X= coordenada este, Y = coordenada norte, Z= elevación y D= la descripción. Es importante verificar que en el archivo CSV el orden coincida con el que usaremos en el software para que los puntos sean correctamente leídos. Para este caso debemos escoger P,X,Y,Z,D separados por comas ya que el programa reconoce de esta manera las columnas del archivo CSV.

**Figura 20.** Ubicación de la herramienta *Import Text/ASCII File*



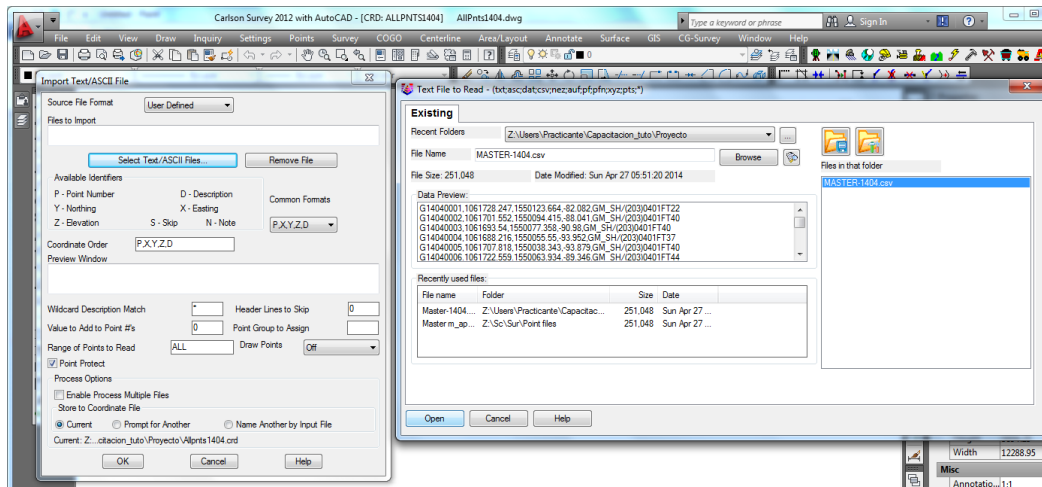
Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

En la opción **Range of Points to Read** debemos escribir **ALL** para que nos lea todos los puntos y en la casilla **Draw Points** debemos seleccionar **Off** (por razones que se explicaran en el siguiente numeral). La opción de **Point Protect** es una herramienta de carlson software para prevenir la pérdida de puntos. Las opción **Enable Process Multiple Files** se usa en caso de trabajar simultáneamente con varios archivos de coordenadas, para este caso dejamos desmarcada la casilla y en la opción **Store Coordinate File** la dejamos en **Current** para que nos almacene la información en el archivo de coordenadas que creamos (ver figura 21).

Cuando damos **OK** el software lee los puntos y debe mostrarnos un mensaje con la cantidad de puntos leídos y la ubicación del archivo que fue importado (ver figura 22), cuyo número de puntos leídos debe coincidir con el número del consecutivo del último punto del archivo CSV, teniendo en cuenta que el primer número de la lista es el 1.

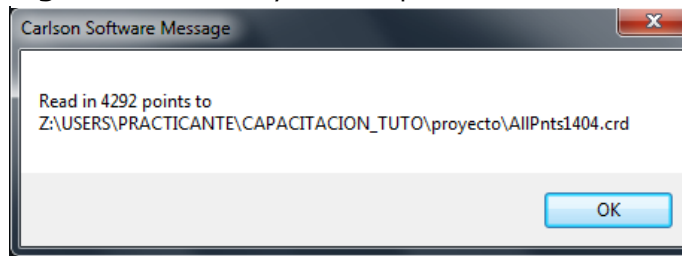
De esta manera el programa ya tiene ingresados los puntos y podemos procesarlos para realizar nuestros trabajos.

**Figura 21.** Parámetros para importar archivo CSV



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 22.** Puntos ya leídos por el Carlson



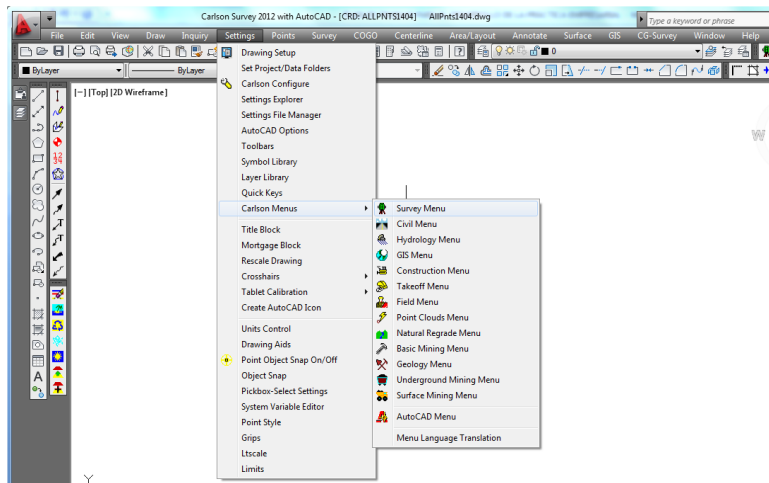
Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

### 3.2. HERRAMIENTA “FIELD TO FINISH” (USOS Y ALCANCE)

**“Field to Finish”:** Este comando convierte los puntos ya leídos en un dibujo final, haciendo coincidir las descripciones de los puntos de campo con códigos definidos por el usuario. Los puntos se ponen en el dibujo con los atributos definidos por el código, incluyendo la capa, símbolo, tamaño y tipo de línea.

A continuación se hará una breve explicación del funcionamiento de la herramienta: para acceder al **Field to Finish** primero que todo debe estar activado el módulo de topografía (**Survey**) del software carlson; este lo activamos en la barra de menú **Settings**, la casilla **Carlson Menús** y clicamos la opción **Survey Menú** (ver figura 23).

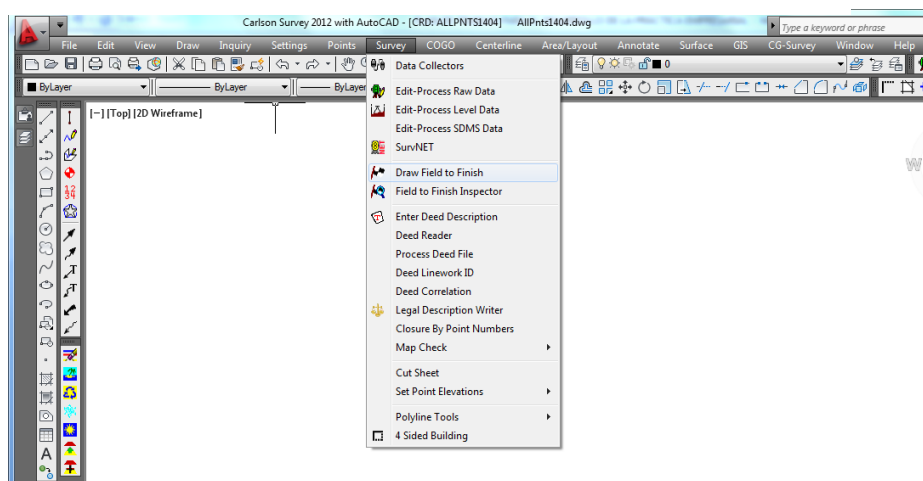
**Figura 23.** Activación del módulo de topografía



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Luego en el menú **Survey** (que debió aparecernos una vez hicimos el paso anterior), clicamos la opción **Draw Field to Finish** (ver figura 24).

**Figura 24.** Ubicación de la herramienta *Field to Finish*



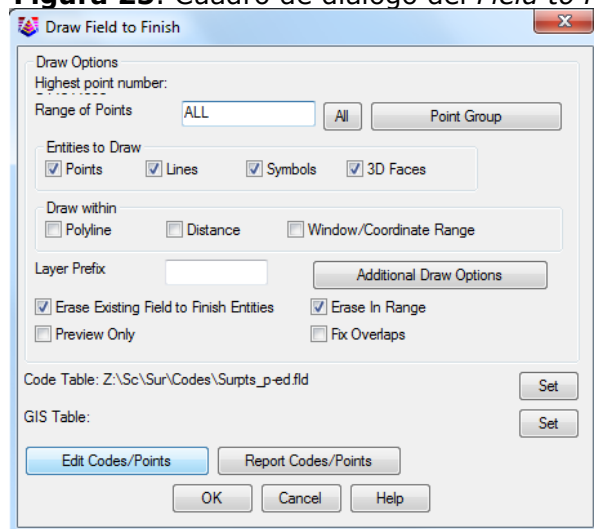
Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

La idea de la configuración que realizaremos será con el fin de dibujar un archivo de puntos que ya poseemos y que queremos asignar a layers que hemos decidido utilizar para la organización de cada uno de ellos; para esta configuración haremos que el programa lea y clasifique punto por punto con características específicas con el fin de lograr una configuración optima de la información que estamos procesando.

Para utilizar esta herramienta nos enfocaremos en los puntos que necesitamos para la tarea que vamos a realizar.

En la casilla **Range of Points** normalmente ponemos **All**, ya que queremos dibujar todos los puntos que guardamos en el archivo CSV (ver figura 25). El resto de opciones las dejaremos por defecto y como se muestra a continuación, ya que al configurar específicamente cada punto obtendremos mayor detalle y nos enfocaremos solamente en la parte que concierne al cálculo de volúmenes.

**Figura 25.** Cuadro de dialogo del *Field to Finish*



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

De las opciones que se muestran en la figura son necesarias para nuestro cálculo la opción de **Code Table**, que es donde seleccionamos un archivo Field to Finish ya creado; en este caso propiedad de la empresa Drummond Ltd. Para ello nos vamos a la carpeta donde lo tengamos guardado y le damos **Open**.

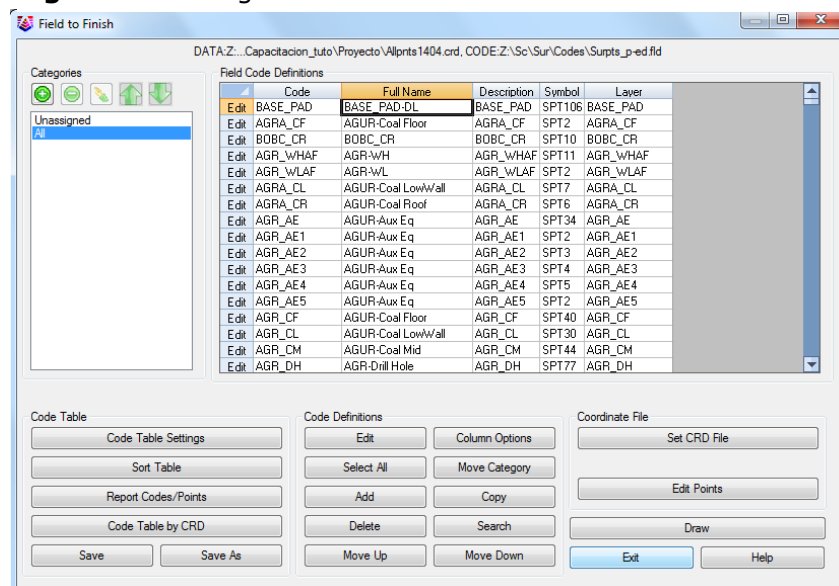
Aunque el objetivo de este proyecto no es mostrar cómo se crea un Field to Finish, se mostrara a grandes rasgos como es su forma de trabajo.

Si clicamos la casilla **Edit Codes/Points**, vemos la manera en que trabaja la herramienta (ver figura 26).

En la herramienta asignamos a cada nomenclatura antes vista un código, en la siguiente columna tendríamos el nombre que representa ese mismo, su descripción, el símbolo con el que lo queremos representar (tipo de punto) y el layer al que lo queremos asignar. Si queremos editar la información y ver otras opciones del comando clicamos en **Edit**.

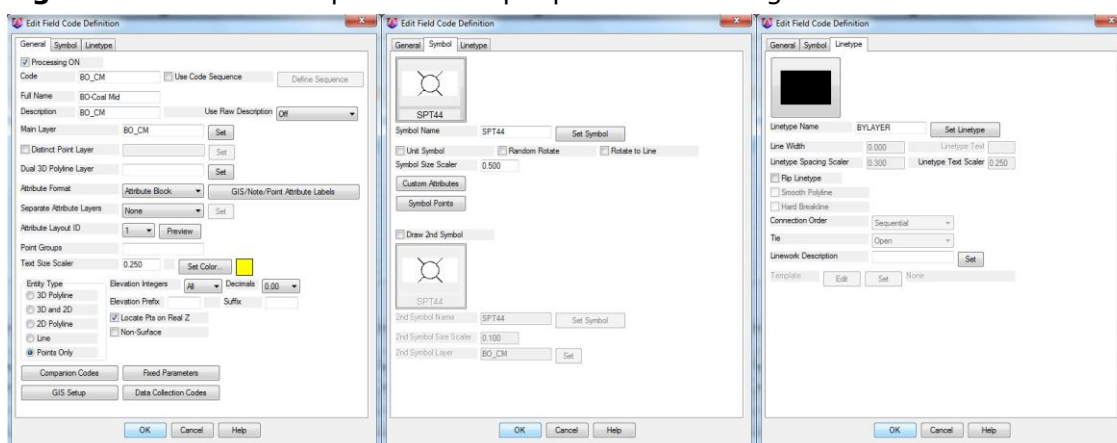
En el cuadro de dialogo que aparece podemos ver las opciones de edición para cada grupo de puntos que contengan el código BO\_CM (carbón medio del mando borrego) (ver figura 27).

**Figura 26.** Códigos del archivo Field to finish de Drummond Ltd.



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 27.** Vista de los parámetros que posee cada código



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

### 3.3. DIBUJO VISUALIZACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PUNTOS

Una vez ya conocido el método de trabajo del **Field to Finish**, proseguimos a ejecutarlo; en la parte inferior izquierda nos saldrá el porcentaje de puntos dibujados que lleva el programa.

De este proceso obtendremos una nube de puntos dibujados que contendrá toda la información suministrada por ya procesada (ver figura 28).

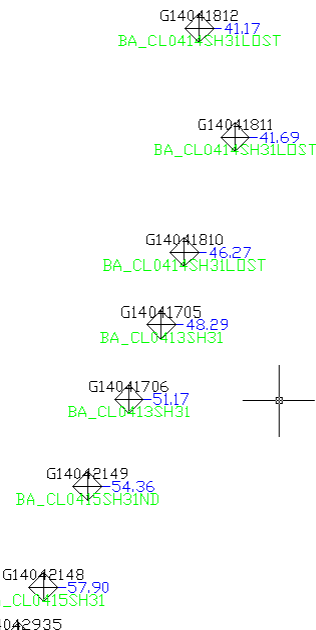
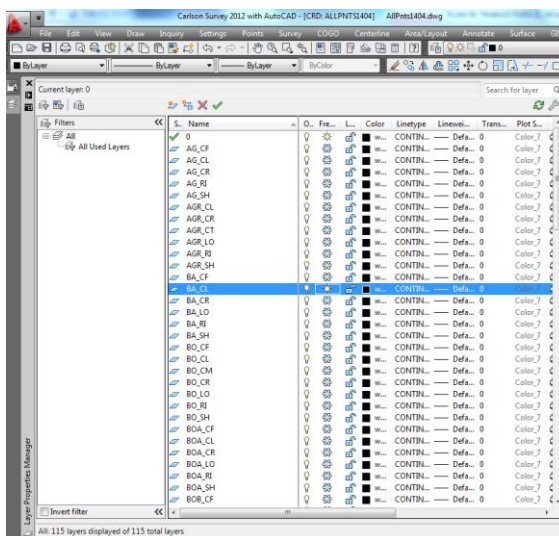
**Figura 28.** Puntos ya dibujados (ver anexo K “Nube de puntos”)



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Para comodidad de los trabajos apagamos todos los puntos que dibujamos, de tal manera que la persona que va a usar el archivo AllPoints solo encienda los puntos que necesita para trabajar. El carlson software tiene una herramienta llamada **Freeze Layer** (el comando para ejecutarla es **Loff**) que nos brinda la oportunidad de seleccionar objetos y apagar todos los objetos pertenecientes al layer que lo contiene. En este caso que deseamos apagar todos los puntos podemos escribir el comando **All** para que seleccione todos los puntos y damos dos veces **Enter**.

**Figura 29.** Verificación de layers



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Si abrimos la pestaña de layers podemos observar la organización de los puntos anteriormente dibujados, los colores que poseen cada uno y que todos se encuentran apagados (ver figura 29). Una vez cerciorados de que todo se encuentra en regla podemos guardar cambios y ya tenemos nuestro archivo de puntos listo para su utilización.

### **3.4. ACTUALIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DEL AVANCE DE LA MINA**

El procedimiento se realiza teniendo como base manejo del software y de los conceptos de minería, para actualizar el avance de la mina debemos tener una ubicación espacial y un conocimiento de los trabajos que se están desempeñando actualmente, de tal manera de que podamos interpretar toda la información que nos es suministrada por topografía.

Para realizar este procedimiento es necesario familiarizarse con el manejo de layers y la manera en que podemos administrar la información que tenemos, de tal manera de que su aprovechamiento sea el máximo en el menor tiempo posible (Optimización de procesos).

### **3.5. MANEJO DE LAYERS SEGÚN LOS MANTOS**

El manejo de layers y la manera en que podemos administrar la información que tenemos para que su aprovechamiento sea el máximo en el menor tiempo posible (Optimización de procesos) está determinado por la experiencia, la práctica y el análisis ingenieril que le demos día a día a los procesos.

Los layers que vemos en las siguientes figuras corresponden a las áreas ya dibujadas de meses anteriores; la nomenclatura utilizada en la empresa Drummond Ltd. consta de: primero del número al que corresponde ese manto, seguido de un guion de piso (\_), en tercer lugar la abreviación del nombre del manto y separado por un guion (-) la característica que estamos agrupando. Las abreviaciones utilizadas son las siguientes:

Coal Floor: F

Coal Roof: R

Coal Medium: CM

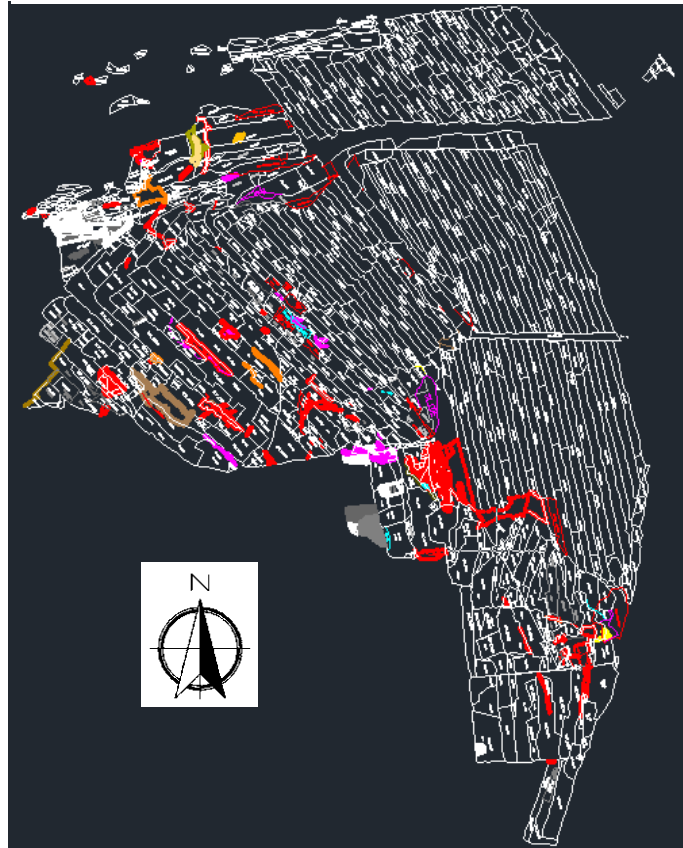
Roca Intermedia: RI

Por ejemplo el 13\_BO-F corresponde a un layer que contiene todos los puntos de piso de ese manto (ver figura 30), si prendemos este layer podremos apreciar las



áreas donde ya se ha explotado este manto de carbón (cabe aclarar que el sentido de avance de la mina es E-W y N-S) (ver ANEXO K).

**Figura 30.** Área correspondiente a los pisos del manto Borrego

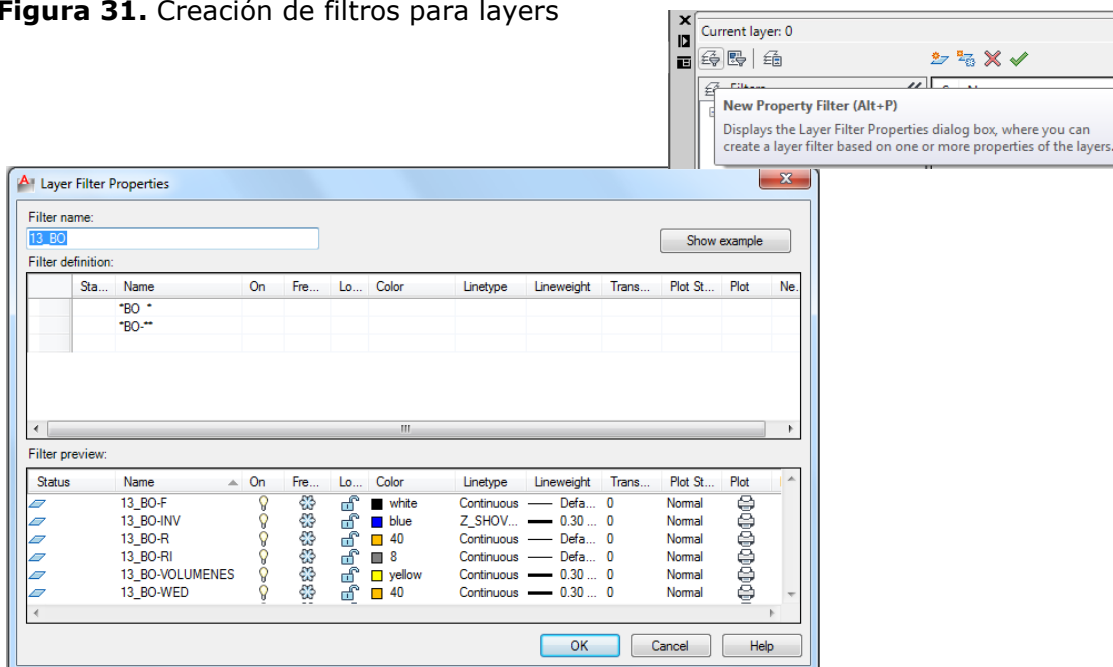


Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Antes de dibujar las superficies representadas por los puntos tomados por topografía es importante organizar correctamente toda la información; el método de trabajo en la empresa Drummond Ltd. consiste en agrupar por mantos todos los layers creados anteriormente. Para este procedimiento utilizamos la herramienta **New Property Filter**, con la que agrupamos conjuntos de layers que posean una nomenclatura común. Por ejemplo para el manto Borrego creamos un filtro donde se incluyan todos layers que posean la nomenclatura BO (ver figura 31).

Una vez organizados nuestros layers deberíamos obtener una lista como la siguiente; donde se muestren todos nuestros mantos y que dentro de cada filtro estén cada conjunto de layers que representan una característica específica de ese manto.

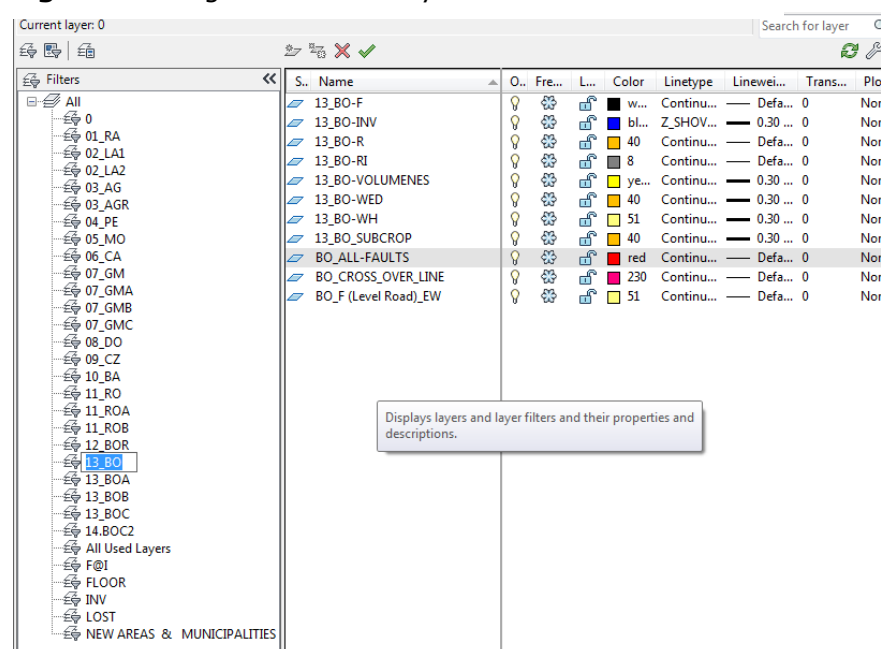
**Figura 31.** Creación de filtros para layers



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

A cada manto (incluyendo River Alluvium), se le asigna un número que nos ayuda a mantener organizada la información, usando las abreviaciones mostradas anteriormente (ver figura 32).

**Figura 32.** Organización de layers



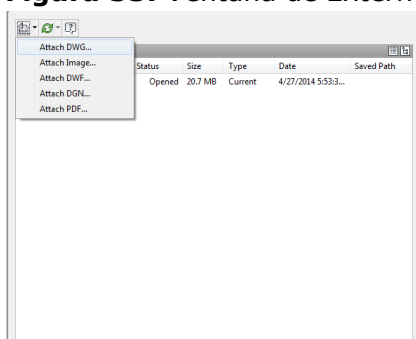
Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

### 3.6. REFERENCIAS EXTERNAS

Las referencias externas son una herramienta novedosa del carlson software, que nos permiten acoplar a un archivo que estamos trabajando otro archivo que contenga información que nos sea de utilidad y que en cualquier momento podemos desactivar o desechar sin modificar de ningún modo ese archivo.

El primer uso que le daremos a esta herramienta será para la representación de las áreas de los puntos que nos entrega topografía. Escribimos el comando **ExternalReferences** y le damos en **Attach DWG...** (ver figura 33).

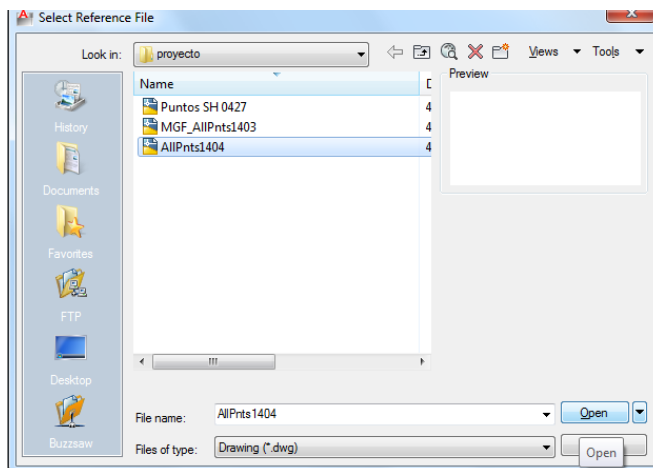
**Figura 33.** Ventana de *External References*



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

En este cuadro de dialogo podemos llamar como referencia a nuestro model de trabajo cualquier archivo DWG, imagen, PDF o DGN; en este caso el archivo AllPoints; una vez clicamos la opción buscarnos el archivo en el cual guardamos los puntos que anteriormente dibujamos y clicamos **Open** (ver figura 34).

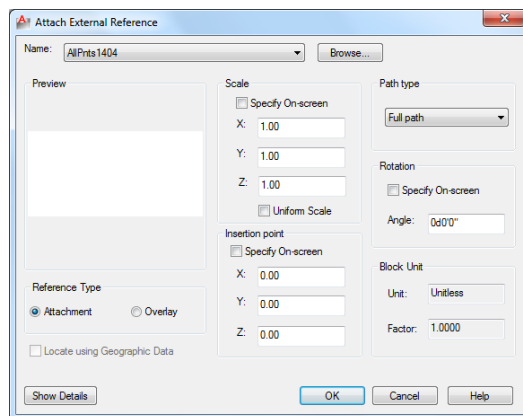
**Figura 34.** Cuadro de dialogo para seleccionar archivo DWG



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Nos saldrá un cuadro donde podemos escoger la escala y las coordenadas en que queremos que se inserten los puntos (ver figura 35); la escala podemos escoger la que deseemos y el punto de inserción debemos tener cuidado de que en los tres ejes sea de cero, ya que los puntos tomados por topografía están georeferenciados con origen en el punto 0,0,0.

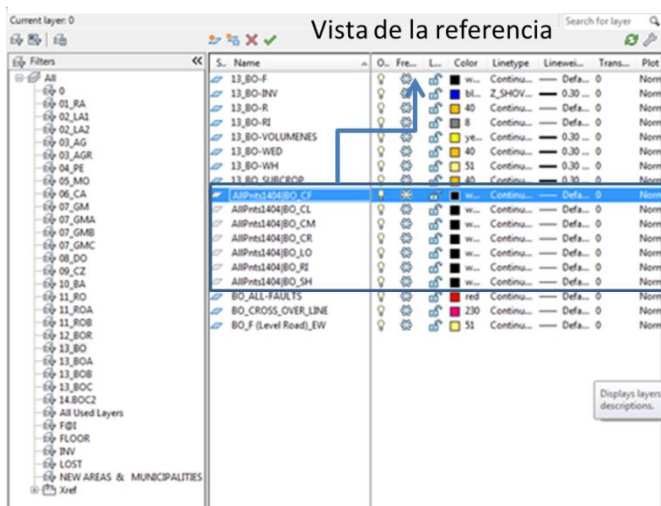
**Figura 35.** Ventana de inserción de la referencia



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Luego de dar **OK** si tenemos los layers correctamente apagados no debería aparecernos nada en el model y cada uno de los puntos que se encuentran en el archivo referenciado deben estar organizados en el layer de cada manto y con la característica que poseen y el nombre del archivo del que están referenciados antes del nombre propio (ver figura 36).

**Figura 36.** Vista de la referencia en los diferentes layers



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Cuando clicamos un punto o un texto perteneciente a una referencia, se seleccionara toda la referencia que está encendida en ese momento; una referencia no se puede modificar a menos de que abramos directamente el archivo que contiene dicha información.

### **3.7.DIBUJO DE LAS ÁREAS QUE REPRESENTAN LOS PUNTOS DE TOPOGRAFÍA Y SU INTERPRETACIÓN**

Ya teniendo la información de topografía correctamente procesada, en el archivo en que tenemos la información de meses anteriores debemos proseguir a plasmar esa información; es decir armar polígonos en el software carlson que represente la superficie delimitada por los puntos tomados en campo. Es importante actualizar esta información a diario para que a la hora de calcular volúmenes tanto de estéril como inventarios de carbón tengamos toda la información completa para su desarrollo (ver anexo K).

Para enunciar el ejemplo actualizaremos el techo del manto borrego que ha sido destapado en el mes en curso. Lo primero que debemos hacer es prender el layer del techo de ese manto; correspondiente según la nomenclatura que ya conocemos a 13\_BO-R y del archivo que hemos referenciado prendemos el layer de techo de carbón que debe aparecer como AllPoints|BO\_CL y AllPoints|BO\_CR. El paso siguiente consiste en buscar en el model los puntos tomados por la comisión de topografía para dibujar el polígono que representan (ver figura 37).

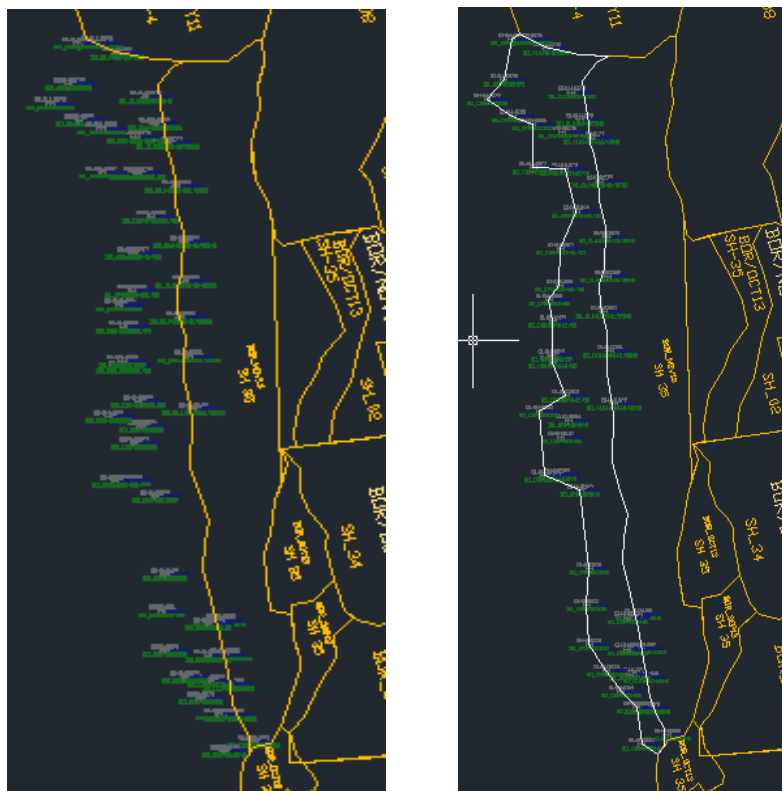
Si observamos una sección del techo de carbón en donde los polígonos que miramos corresponden a los techos de carbón de meses anteriores; podemos ver los puntos dibujados con los que actualizaremos estas áreas. Para formar el polígono representado es importante poseer un criterio del estado actual de la mina, de tal forma que podamos resolver cualquier duda acerca de la ubicación de un punto o que podamos detectar un error en la toma del mismo, ya sea una asignación a un manto equivocado o un punto que no corresponda a lo que representa, entre otros.

Entre los criterios a tener en cuenta para dibujar los polígonos debemos tener presente la dirección en que buzan los mantos y por ende el avance de la mina; la mina avanza de derecha a izquierda (E-W) y de arriba hacia abajo (N-S), por tanto el techo del manto debe ir pegándose al techo de los meses anteriores, obviamente teniendo en cuenta que puede haber excepciones. La unión se hace con una polilínea para que forme un polígono como se muestra en la figura.

Los criterios para formar estas áreas deben tener en cuenta la fecha, ya que un punto más reciente prima sobre uno antiguo aunque el criterio principal son las

visitas a campo. Es importante analizar los consecutivos de los números para guiarnos (aunque no es un criterio definitivo) y verificar luego de terminado el dibujo que cumpla con las condiciones presentes en el terreno (ver figura 38).

**Figura 37.** Dibujo del polígono mediante la referencia



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 38.** Sección de dibujo



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

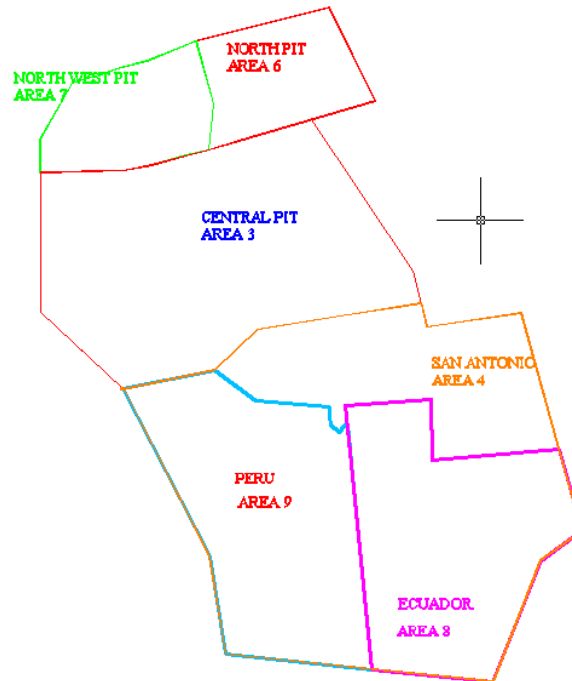
Con el objetivo de no confundirnos, incluimos el polígono en el layer del manto (con su respectivo color), damos nombre al área con el nombre del manto, la abreviación de techo o piso de carbón (incluyendo también el número de la pala que lo extrajo en caso de pisos y techos) y ponemos un achurado al área que corresponda al mes en curso, teniendo la consideración de que a inicio de mes debemos borrar todos los achurados correspondientes al mes inmediatamente anterior. Para cuestiones de orden y diferenciación en la empresa Drummond Ltd. se usa un achurado diferente de acuerdo al tipo de terreno: para representar piso de carbón (Floor) se utiliza el achurado **ANGLE**, para techo de carbón (Roof) se utiliza **ANSI31** y para roca intermedia (RI) usamos **GRAVEL**.

Dependiendo a la minería, normalmente se acostumbra a subdividirse la explotación en áreas, la mina pribbenow de Drummond Ltd. está dividida en 6 áreas, de las cuales 1 ya culmino la etapa de explotación y el resto aun presentan desarrollo y extracción. La división de las áreas de la mina es la mostrada en la figura. Si un polígono queda repartido en dos o más áreas, se hace necesario dividir el polígono en función de estas áreas para posteriormente poder diferenciar a que área corresponde cada volumen o inventario calculado (ver figuras 39 y 40).

Existen características que se deben tener en cuenta que ligan a los puntos de intermedio de carbón (Coal medium) y los puntos de piso de carbón; ambos puntos se dibujan en el layer de piso de carbón pero diferenciando las áreas que corresponden a uno de otro. El achurado de los puntos de intermedio de carbón es el mismo pero usando un color un poco diferente para diferenciar el área (normalmente se trabajan escalas de grises oscuros). En los puntos que representan un parcial o total de carbón extraído (CM o F) se pone adicionalmente el espesor de carbón que va extraído o el total en caso de que se haya explotado todo (Thickness = THK).

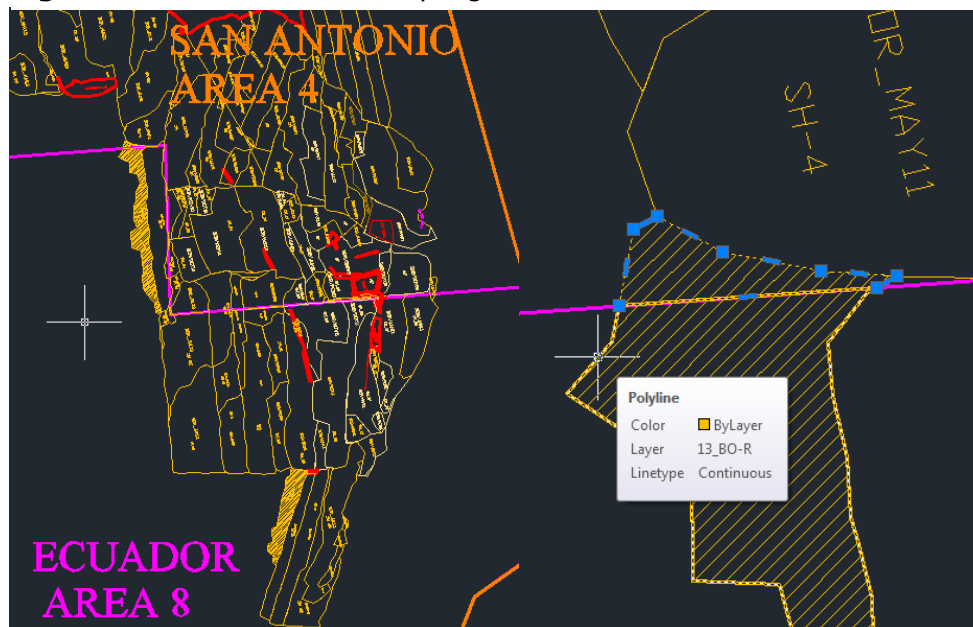
Otra propiedad importante es la jerarquía que existe entre dos tipos de puntos, los puntos de CM y CF al igual que los puntos de CR, CL y RI pueden estar unos sobre otros, refiriéndonos a puntos correspondientes al mismo manto, se aconseja dibujar primero el techo y el piso del manto de carbón (puntos de CR y CL y puntos de CF); si analizamos el primer caso cuando encontramos el piso de carbón quiere decir que ya fue extraído el total del manto, haciendo imposible que podamos en ese mismo lugar encontrar un parcial de carbón. En este caso dibujaríamos únicamente el piso de carbón, de esta manera solo dibujamos los puntos de CM que estén por fuera del polígono de piso de carbón (ver figura 41).

**Figura 39.** Áreas en las que esta subdividida la mina Pribbenow



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 40.** Subdivisión de un polígono a causa de un cambio de área



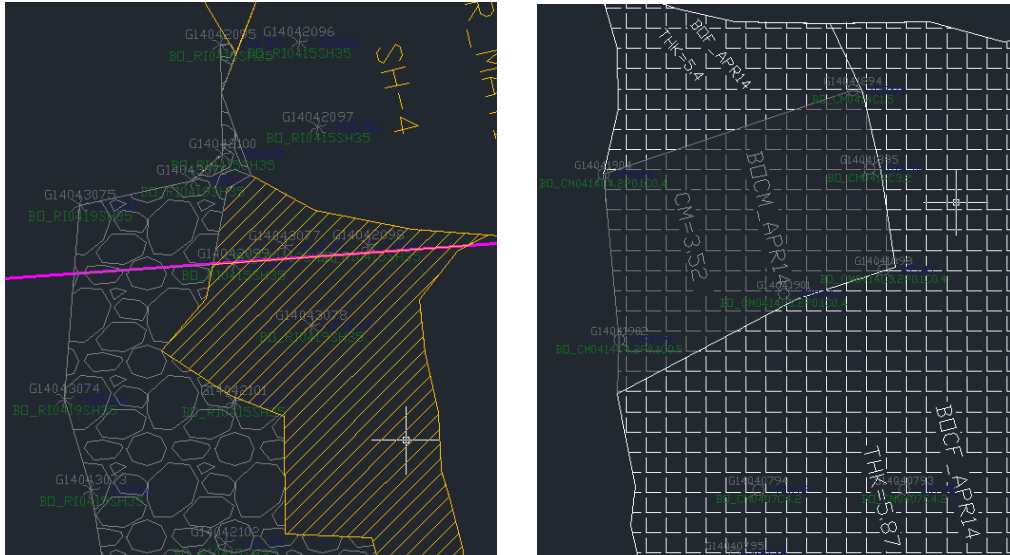
Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

En el caso de los puntos de CR, CL y RI, los dos primeros corresponden al techo del carbón, por lo tanto pueden coincidir sin problema ya que corresponden a la misma área; en cuanto a los puntos de roca intermedia corresponden a lugares



que aún falta extraer material para acceder al techo del carbón, en este caso si se nos indican puntos de CR y CL podemos asumir que la roca intermedia que existía en ese lugar ya fue extraída por tanto solo dibujaremos los puntos de RI que estén por fuera de nuestro polígono de techo de carbón (ver figura 41).

**Figura 41.** Parámetros para dibujo de polígonos de áreas

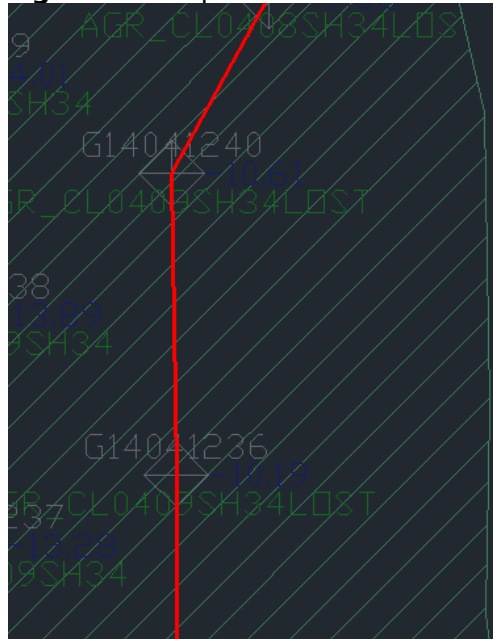


Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

En cuanto a los puntos donde se perdió el manto (Lost) se dibuja el polígono (o una línea en caso de no formarse polígono) resultante con la diferencia de que se añade en el layer del techo y del piso de carbón, cambiando el color a rojo y aumentando un poco el grosor de la línea, con el fin de que podamos identificar esa área claramente a la hora de calcular el material que realmente se movió allí (si se extrajo carbón o se removió roca). De esta misma manera los puntos llamados Falla se representan como una línea, conservando las demás características de los puntos de pérdida de carbón. Si el polígono no es claro para dibujarse lo dibujamos como una línea, con visitas a campo podemos corroborar el suceso y complementar la figura formada (ver figura 42).

Además de esto es importante tener en cuenta que las fallas son tomadas tanto en la parte superior (falla top) como en la parte inferior (falla bottom), permitiéndonos obtener una visualización más precisa en el software de estas áreas discontinuas que traerán pérdidas, pinchamientos o variaciones en la posición de los diferentes mantos presentes en la minería de carbón los cuales variaran el proceso de minería en estos sectores ya que estas zonas suelen ser de alta inestabilidad o de mucho cuidado a la hora de su explotación.

**Figura 42.** Representación de una línea de pérdida (Lost)



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

### 3.8.TÉRMINOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE VOLÚMENES Y SU DEFINICIÓN.

Para realizar el cálculo de volúmenes existen muchas variables a tener en cuenta y estas parten de los polígonos dibujados.

- Techo y piso del manto: ya se ha especificado anteriormente como se dibuja y las características que lo representan.
- Topografía de la mina: para lo referente al cálculo de volúmenes es de vital importancia contar con una topografía actualizada, que nos permita ubicar de manera clara en ella los polígonos que dibujamos en el software carlson. De igual manera mediante la topografía del mes anterior tenemos una referencia clara del cambio sufrido por la mina para analizar los volúmenes e inventarios movidos o alterados. Tan bien en base a estas topografías se generaran las Grids con las que trabajaremos el cálculo de volúmenes.
- Cuña: corresponde a volúmenes de material estéril que ya fue volado y que ha sido extraído parcialmente. Si tenemos en cuenta que la capa de material estéril entre un manto y otro está enmarcada entre el piso del manto superior y el techo del manto inferior, una vez iniciamos el proceso de desarrollo para acceder al manto inferior es posible que debido a su capacidad una pala necesite hacer dos o más pasadas para extraer todo ese material estéril; de

esta manera el material que queda por extraer recibe el nombre de cuña (Wedge).

### **3.9. IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS MEDIANTE COLORES**

A la hora de cuantificar volúmenes de material podemos encontrarnos con diferentes tipos de áreas, las cuales para facilidad en los cálculos a realizar se identifican mediante colores. Estas áreas de cálculo debemos identificarlas en cada tipo de minería (ver Anexo A-I):

Áreas de cálculo:

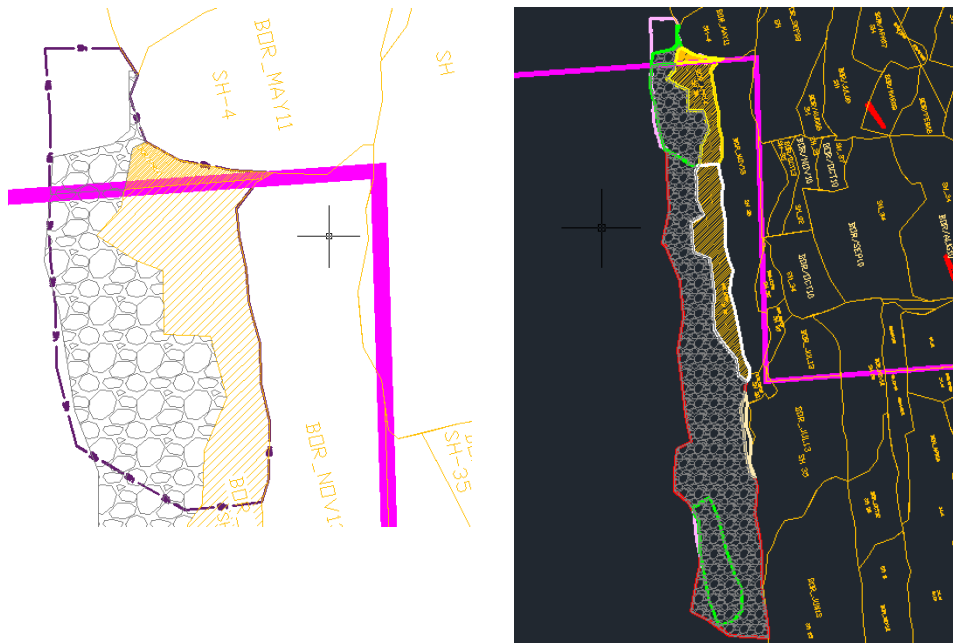
- a) Área de cálculo roja: se presenta cuando desde que se extrajo el carbón del manto superior es la primera vez que se deja una cuña (no había cuña y a final de mes quedo una).
- b) Área de cálculo verde: se presenta cuando en meses anteriores ya se había empezado a excavar la roca del manto a minar y se continuó durante el mes en curso sin alcanzar el techo del manto (había una cuña, se profundizo y continuó existiendo).
- c) Área de cálculo amarilla: se presenta cuando en meses anteriores existía una cuña y en el mes en curso se destapo el techo del carbón.
- d) Área de cálculo blanca: al inicio del mes se inició en el piso del manto superior y en el transcurso del mismo mes se destapo la cara del carbón inferior (no hubo cuña antes ni después).

### **3.10. DIBUJO DE LOS POLÍGONOS EN CARLSON**

El dibujo de los polígonos en el software se trabaja de manera similar a la creación de los polígonos dibujados para representar el techo o el piso del carbón, con el agregado de que en cada final de mes se dibuja toda el área de cuña que quedo después de haber calculado los volúmenes. Este condicionante nos muestra la existencia de un archivo de cuñas del mes inmediatamente anterior al que vamos a calcular, este archivo lo llamamos como una referencia, una vez referenciado se ubicara dentro de cada manto su respectivo layer de cuña.

El paso restante consiste en crear nuevos polígonos para representar los colores que vimos en el numeral anterior, estos polígonos los creamos para cada manto dentro de un layer que lleve la secuencia de este y el adicional de Volúmenes para identificarlo (por ejemplo 13\_BO-Volumenes para volúmenes del manto borrego); estos colores se representan así (ver figura 43):

**Figura 43.** Área de cuña (Izquierda) y dibujo de polígonos de colores (Derecha)



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

- a) Se crean polígonos rojos en toda el área de roca intermedia que esta por fuera del área de cuña; esto se justifica con el hecho de que la cuña que está quedando es nueva y no existía el mes anterior.
- b) Se crean polígonos verdes en toda el área de roca intermedia que esta por dentro del área de cuña; esto se justifica con el hecho de que nunca existió cuña antes que se destapase ese carbón.
- c) Se crean polígonos amarillos en toda el área donde se destapo carbón (área de Roof) que esta por dentro del área de cuña; esto se justifica con el hecho de que existía una cuña antes que se destapara este manto.
- d) Se crean polígonos blancos en toda el área donde se destapo carbón que esta por fuera del área de cuña; esto se justifica con el hecho de que no existió cuña antes de que se destapara ese manto.

## 4. CÁLCULO DE VOLÚMENES

### 4.1. TEORÍAS PARA EL CÁLCULO DE SUPERFICIES DE TERRENO<sup>1</sup>

Las superficies de terrenos pueden ser graficadas digitalmente en un proceso conocido como **Modelamiento Digital del Terreno (MDT)**, el cual es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Un MDT necesitará una estructura numérica particular y para representar variables debe poder ser cuantificada, no pudiendo un MDT representar variables cualitativas. La necesidad de continuidad sugiere además un comportamiento suave de la variable, lo que resulta particularmente importante ya que al ser digital el modelo será también discreto.

Los métodos más usados y precisos utilizados para el cálculo de un MDT son por medio de mallas regulares (GRIDS) y por medio de la red irregular de triángulos (TIN). Las superficies se generan por medio de nubes de puntos, los cuales son tomados de forma irregular ya que un punto se toma donde se observa una característica del terreno mas no en sitios estipulados; los métodos nombrados utilizan diversas teorías y formas de cálculo para realizar la interpolación y cálculos de las coordenadas y elevaciones en los lugares dentro de la zona de cálculo donde no poseemos información.

- **Red irregular de triángulos (TIN):**

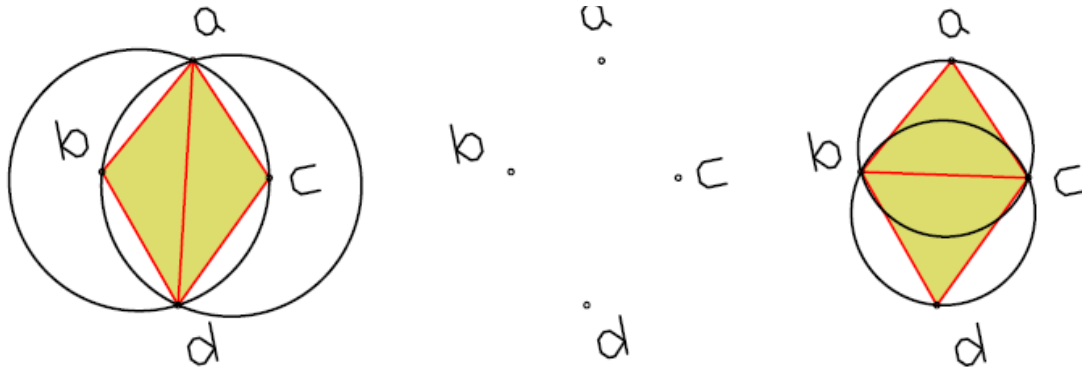
Es una representación discreta de una superficie continua a través de una red irregular de triángulos que cubren toda la superficie sin solaparse entre ellos. Esta representación vectorial tiene la ventaja de ser más flexible en la ubicación de los nodos (vértices de los triángulos) y si se los ubica en forma acertada representarán mejor y con menos datos la información original.

El uso de la red de triángulos tiene la gran ventaja del uso de toda la información suministrada para la construcción de la superficie; para la creación de estos triángulos se usa la triangulación de delaunay, cuya idea fundamental consiste en hallar una triangulación en la que los puntos más próximos entre sí estén conectados por una arista, o dicho de otra forma, en la que los triángulos resultantes sean lo más regulares posibles.

<sup>1</sup>Gende Mauricio, Modelos Digitales de Terreno, 2009, Universidad Nacional de la Plata [http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/index.php/Modelos\\_Digitales\\_de\\_Terreno#Red\\_Irregular\\_de\\_Tri.C3.A1ngulos\\_.28TIN.29](http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/index.php/Modelos_Digitales_de_Terreno#Red_Irregular_de_Tri.C3.A1ngulos_.28TIN.29)

De tal forma se hace una triangulación del terreno, en la que cada triángulo cumpla la condición de que su circunferencia circunscrita no contenga ningún otro vértice. Esta teoría podemos evidenciarla observando una la distribución de cuatro puntos, a partir de ellos podemos formar dos posibles combinaciones de triángulos. Si trazamos para cada condición la circunferencia circunscrita a cada uno nos damos cuenta que en un caso la circunferencia contendría a los 4 puntos, mientras en el otro caso solo contiene los tres puntos que forman el triángulo; el segundo caso es el que estaría cumpliendo con la triangulación de delaunay (ver figura 44).

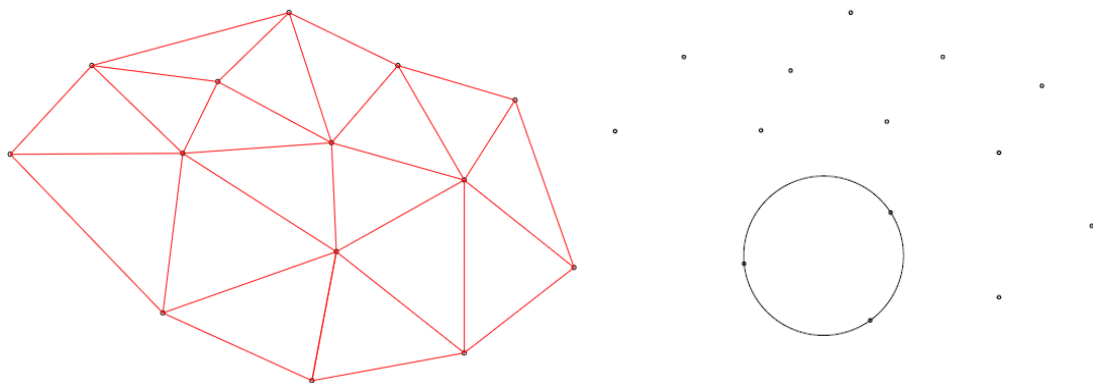
**Figura 44.** Triangulación de delaunay



Fuente. <http://www.ian-ko.com/> y Resultado de la investigación

Aplicando este criterio nos encontraremos que una nube de puntos debe triangularse cumpliendo para cada triángulo formado este postulado. Una muestra de ello es tomar una cantidad determinada de puntos; para la óptima realización del diseño se recomienda arrancar de un extremo, construyendo un círculo inicial y verificando que dentro de él o sobre el solo existan tres puntos; una vez se cumpla esta condición con estos tres puntos se forma un triángulo hasta completar el total de la nube de puntos (ver figura 45).

**Figura 45.** Triangulación correcta de una nube de puntos



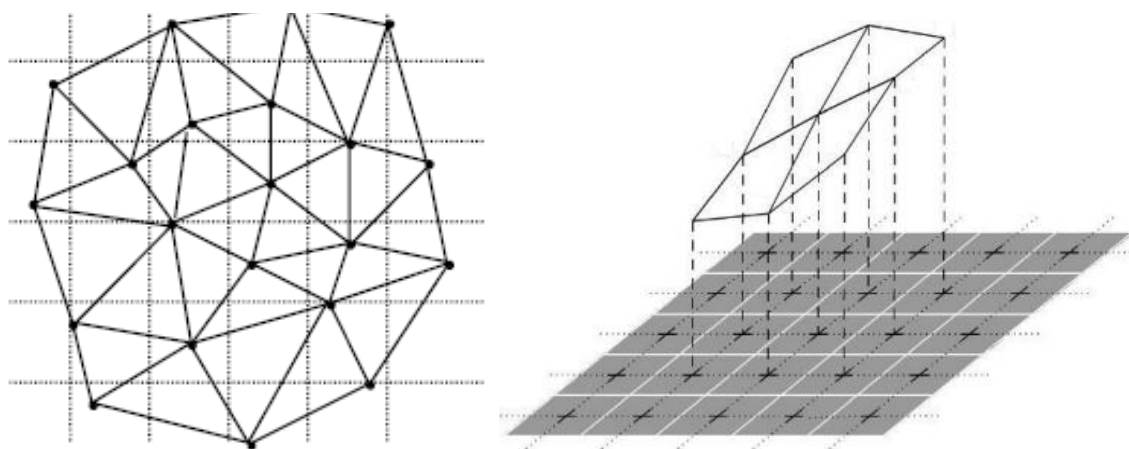
Fuente. <http://www.ian-ko.com/> y Resultado de la investigación

Las líneas que forman cada triángulo poseen la inclinación interpolada de la altura de los dos puntos que la forman; logrando de esta manera que cada triángulo se convierta en una superficie bidimensional (superficie plana) y que en conjunto toda la maya nos represente acertadamente la superficie real del terreno<sup>2 y 3</sup>.

- **Mallas regulares (GRIDS):**

El cálculo de superficies mediante mallas regulares se hace creando una malla que trate de contener la mayor cantidad de puntos de la nube en los vértices de esta. En primera instancia tenemos el determinante de que entre más pequeña sea la cuadrícula de la maya, mayor será la precisión de la superficie generada, pero a la vez nos creara una superficie más compleja que consumirá más recursos sistemáticos para su creación y utilización.

**Figura 46.** Teoría para la creación de una GRID



Fuente. <http://www.ian-ko.com/> y <http://fcaglp.unlp.edu.ar>

Una vez se establece la malla regular la elevación de los puntos se interpola, generando subconjuntos de cálculo; siendo la triangulación el método utilizado en la empresa para interpolar la nube de puntos. Esta triangulación se realiza superponiendo una malla regular sobre la superficie obtenida de la TIN e interpolando con las líneas de corte para obtener las elevaciones de los nodos (ver figura 46).

<sup>2</sup>Ianko Tchoukanski, *Triangulated Irregular Network*, 2014, [http://www.ian-ko.com/resources/triangulated\\_irregular\\_network.htm](http://www.ian-ko.com/resources/triangulated_irregular_network.htm).

<sup>3</sup>Laboratory of geographic information systems (LASIG). *Digital Elevation Models: Regular GRID versus Triangulated Irregular Network*, 2013, [http://lasig.epfl.ch/files/content/sites/lasig/files/users/149002/public/LSSR2013/MagdaN\\_25June2013Final.pdf](http://lasig.epfl.ch/files/content/sites/lasig/files/users/149002/public/LSSR2013/MagdaN_25June2013Final.pdf).

## **4.2. CREACIÓN DE SUPERFICIES EN EL SOFTWARE CARLSON.**

El procedimiento en el software requiere que tengamos claras las superficies que usaremos para calcular volúmenes; si nos vamos a las figuras usadas en el numeral anterior podemos ver las superficies de terreno que se nos pueden formar en los dos tipos de minería usados en la empresa. En cada una de estas figuras podemos ver en línea punteada las superficies que se representaran para posteriormente calcular volúmenes (ver ANEXO K).

De las figuras podemos concluir que las superficies que necesitamos son: las superficies de topografía tanto del mes que vamos a calcular como del anterior y la superficie tanto del techo como del piso de cada manto de carbón.

Para el cálculo de estas superficies la información que poseemos son los puntos tomados por topografía, no solo en el mes en curso sino los datos históricos de todos los puntos tomados en la mina; los cuales debemos agruparlos en un solo archivo de puntos total y crear subfiltros para agrupar la característica deseada; de esta manera podremos visualizar en el plano de carlson todos los puntos tomados desde el inicio de la mina ya sea de techo de carbón (CL y CR) o de piso de carbón (CF) de un solo manto; a los cuales posteriormente generaremos la superficie.

En la mina pribbenow de Drummond Ltd. se actualiza mes a mes un conjunto de archivos que poseen los puntos de las superficies que crearemos, estos archivos se llaman: Allpoints\_Floor y AllPoints\_Roof.

Para ello filtramos en el archivo de puntos del mes que calcularemos todos los puntos de piso de carbón, luego los encendemos (puntos de CF de todos los mantos) y los copiamos todos en coordenadas originales al archivo donde tenemos todos los puntos de techo de carbón (ver figuras 47 y 48).

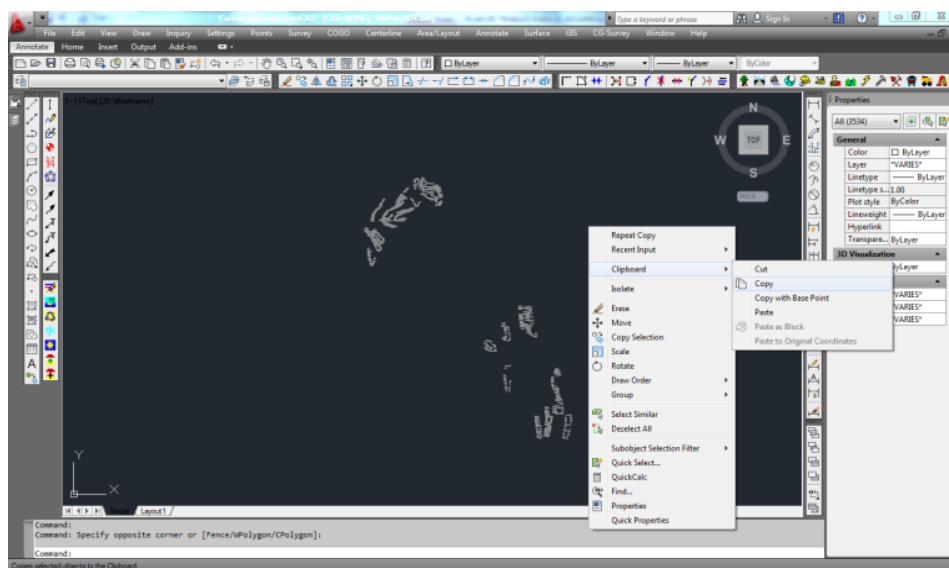
Este mismo procedimiento lo realizamos con los puntos de techo de carbón. En cuanto a la topografía, esta es actualizada mensualmente por un ingeniero de la empresa capacitado para el procedimiento. El software carlson es capaz de crear superficies a partir de curvas de nivel; completando así todos los ítems necesarios para calcular superficies.

En el software carlson para generar superficies derivadas de una nube de puntos o de curvas de nivel, partimos en primera medida decidiendo la superficie que nos proponemos a dibujar; en el caso de una nube de puntos encendemos el layer que contiene los puntos que representaran esta superficie. El primer paso para dibujar



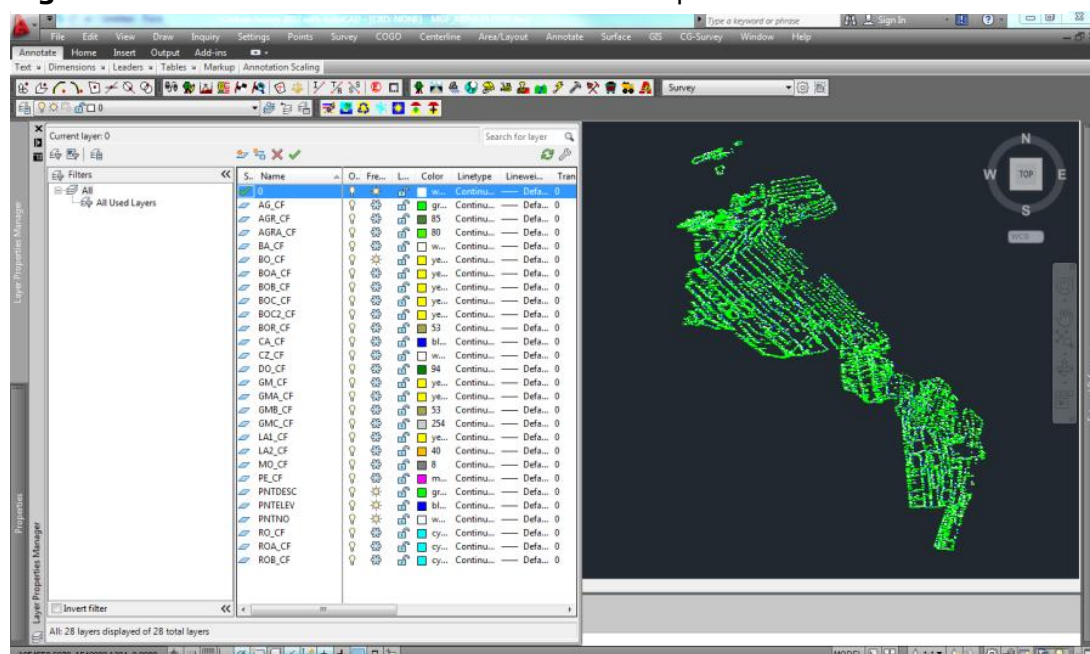
la superficie es crear un polígono que abarque el área donde están ubicados los puntos (polígono de inclusión), el polígono debe contener todos los puntos que se desean procesar; en el caso de la topografía esta ya posee su propio polígono de inclusión al ser actualizada por el ingeniero a cargo de este procedimiento (ver figura 49).

**Figura 47.** Extracción de los archivos de piso de carbón.



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

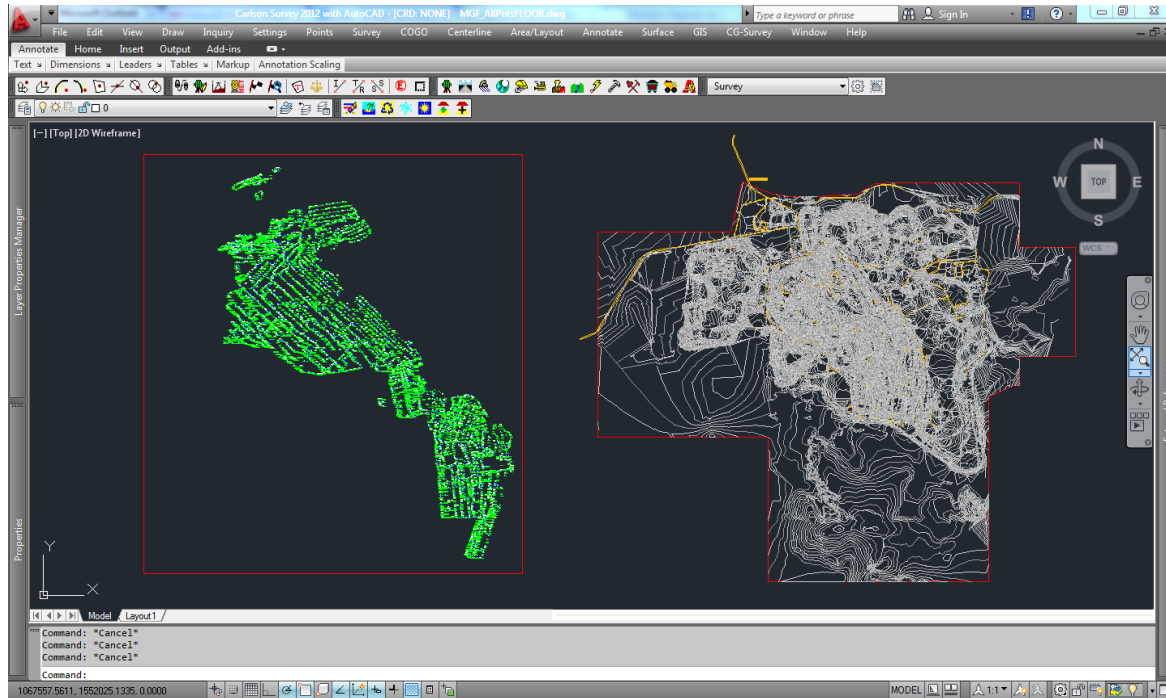
**Figura 48.** Actualización del archivo histórico de piso de carbón



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

La nomenclatura que se usa en mina pribbenow para las superficies pueden variar, pero siempre expresando de manera clara que es lo que representa. Por ejemplo para una superficie del piso del manto borrego, una nomenclatura acertada seria BO\_Floor; para una topografía es necesario añadir la fecha ya que esta se actualiza 2 o 3 veces por mes, por ejemplo Topo\_043014 para la última actualización topográfica del mes de abril.

**Figura 49.** Organización para la creación de superficies



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

- **Generación de superficies mediante la Red irregular de triángulos (TIN):**

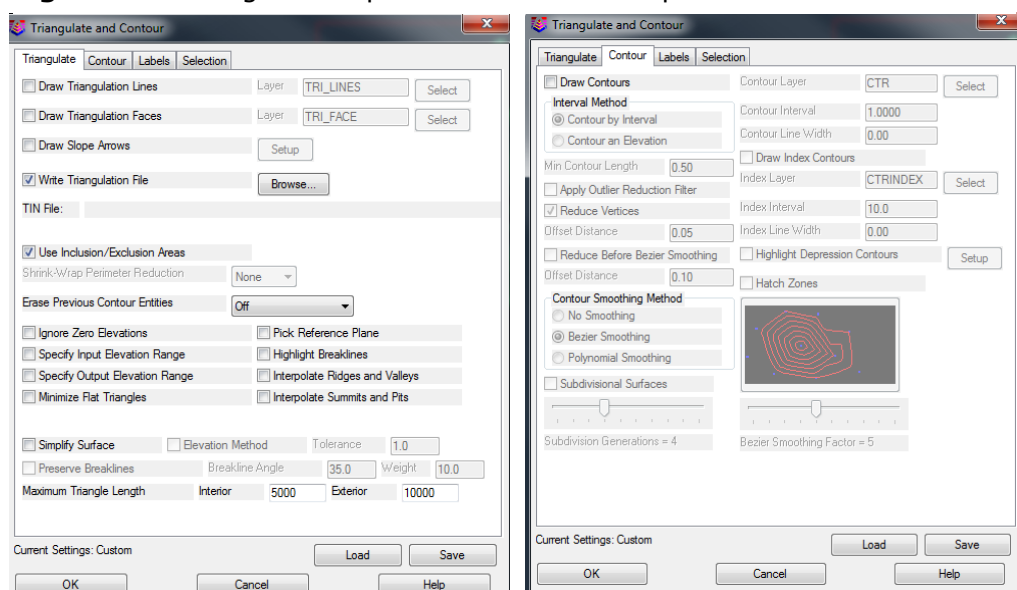
El primer paso es dirigirnos en la barra de menú a **Surface, Triangulate&Contour**; donde nos aparecerá un cuadro de dialogo para especificar las características del procedimiento a realizar. Primero nos dirigimos a la pestaña **Contour** y desmarcamos la opción **Draw Contours**, ya que el objetivo del procedimiento es la creación de una superficie no un contorno.

En la pestaña **Triangulate** las tres primeras opciones hacen referencia a dibujar la superficie sobre el modelo; para el cálculo de volúmenes es más óptimo tener un archivo que contenga cada superficie, para que exista facilidad de acceso a la que deseemos. Por esta razón estas tres opciones deben desmarcarse. Marcamos la opción **Write Triangulation File** y en **Browse...** damos el nombre y la ruta en la

que queremos guardar el archivo (la nomenclatura debe darse como se especificó anteriormente).

Si nos proponemos a dibujar la nube total de puntos y no un área en específico, el uso o no de un área de inclusión no afectará nuestro proceso de cálculo (aunque es recomendable usar el área de inclusión para disminuir el consumo de recursos sistemáticos). La creación de superficies del software carlson se realiza con el módulo de topografía, por tanto posee muchas opciones de personalización y herramientas que en el caso de minería no son necesarias para el cálculo de las superficies o que dada la cantidad y correcta distribución de los puntos que se poseen no hacen necesaria su utilización. La opción de **Ignore Zero Elevations** debe ser desmarcada, ya que en la mina existe la elevación 0 (ver figura 50).

**Figura 50.** Configuración para la creación de superficies TIN



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Los cálculos que se realizarán para hallar los volúmenes siempre tendrán nube de puntos espaciados correctamente; por tanto la longitud de la triangulación no afectará las áreas donde se calcularán estos volúmenes.

Luego de dar **OK** nos pide seleccionar el polígono de inclusión (polígono que anteriormente dibujamos en rojo) luego el de exclusión que no es necesario por lo tanto damos **Enter** y finalmente seleccionamos toda la nube de puntos o todas las líneas de las curvas de nivel, sin seleccionar el polígono de inclusión o cualquier línea punto o texto que pueda crear errores a la hora de realizar el cálculo. El proceso de creación de la superficie finaliza cuando en la parte inferior izquierda nos aparece un mensaje indicándonoslo.

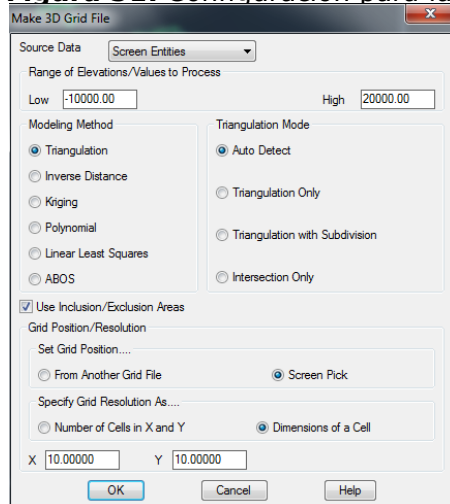
## Generación de superficies mediante mallas regulares (GRIDS):

El primer paso es dirigirnos en la barra de menú a **Surface, Make 3D Grid File**, y ponemos el nombre y la ubicación del archivo.

En el rango de elevaciones escogemos valores muy extremos para que nos lea todos los puntos, en cuanto al método de modelado escogemos **Triangulation**, que es el método usado aquí en la mina pribbenow de Drummond Ltd. en cuando al modo de triangulación escogemos **Auto Detect**, ya que en este método el programa realiza los cálculos dependiendo de la organización de la nube de puntos.

El uso de áreas de inclusión o exclusión nos determinara el sitio donde se realizara el cálculo, de allí el crear un polígono que contenga todos los puntos con los que calcularemos la superficie. Las áreas de exclusión normalmente se usan para excluir perímetros del cálculo regularmente por ser áreas con elevación constante. La posición de la malla regular se determina manualmente de tal manera de que el polígono quede contenido en la superficie que se va a crear y las dimensiones de las celdas se establecieron de 10x10 para la mina pribbenow (a menor dimensión de la celda más precisión pero mayor tamaño del archivo de superficie que se creara) (ver figura 51).

**Figura 51.** Configuración para la creación de superficies GRID



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Una vez completado el proceso de configuración proseguimos a seleccionar los parámetros para el cálculo: el primer paso consiste en seleccionar la región donde se realizara el cálculo (posición de la malla regular); podemos escoger el área del polígono, es decir clicar en los dos extremos opuestos del rectángulo.

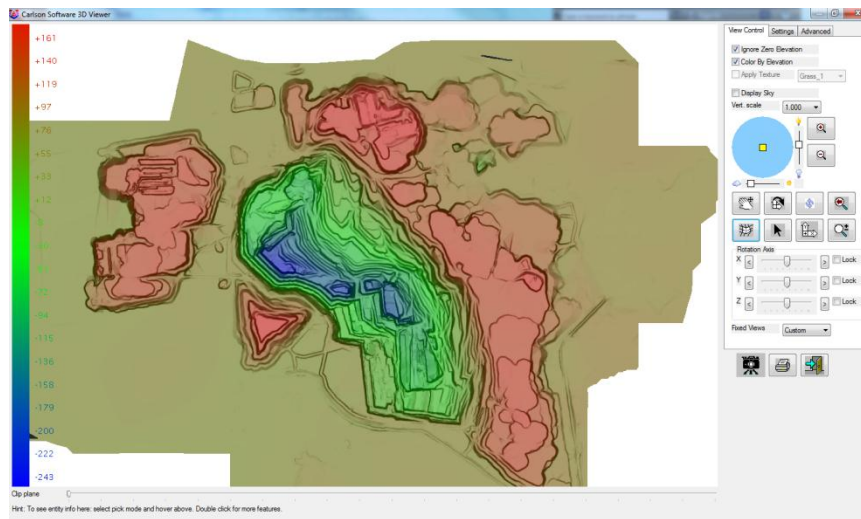
El segundo paso es la selección del área de inclusión, para ello seleccionamos el polígono (marcado en rojo en la imagen), el tercer paso es el polígono de exclusión (solamente damos **Enter** para que no seleccione ninguno). Finalmente seleccionamos todos los puntos o las curvas de nivel y damos **Enter**. Una vez completado el proceso nos aparecerá en la parte inferior izquierda un mensaje que muestra que el proceso se completó y la ruta en que fue guardado.

Es importante tener en cuenta algunos aspectos, en primera medida no podemos realizar cálculos entre mallas regulares y la red de triángulos irregulares, por tanto debemos construir todas nuestras superficies con una de las dos. Es necesaria la construcción de superficies para cada techo y piso de cada manto, para la topografía actual y la topografía anterior (la topografía que se utilizó como actual en el último cálculo).

- **Visor de superficies del software carlson:** en el menú **View** la opción **Surface 3D Viewer** y buscamos el archivo que creamos con alguno de los dos procedimientos anteriores (ver figura 52).

Entre algunas de las opciones del visor 3D tenemos la rotación y zoom de toda el área dibujada, la aplicación de texturas o colores dependiendo de la elevación, la opción de observar más de una superficie en una misma vista 3D.

**Figura 52.** Visor 3D del software carlson



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

La visual 3D nos ayuda a verificar que la superficie está bien dibujada, que no contenga errores a gran escala y en algunos casos a ubicarnos con respecto a la posición de determinada área de cálculo.

### 4.3.DEFINICIÓN DE SUPERFICIES PARA EL CÁLCULO DE CADA POLÍGONO.

Una vez contamos con las superficies y las bases teóricas podemos definir la manera en que calcularemos los volúmenes. En primera medida partimos de la definición. ***“Volumen se define como la extensión en tres dimensiones de una región en el espacio”.***

Si contamos con dos superficies que nos delimitan una cantidad de material entre ellas, el volumen que deseamos saber será el fruto de establecer los límites en los que lo calcularemos (área que deseamos calcular); partiendo siempre de tener clara que superficies debemos enfrentar para obtener los límites correctos.

Si observamos nuevamente los polígonos de colores y además inspeccionamos las cualidades que representan las líneas punteadas, nos encontramos con las superficies que nos estarían delimitando cada volumen de material. De esta manera para cada color aplicaríamos una relación (ver cuadro 5):

**Cuadro 6.** Relación de colores con la representación de los polígonos

| Color del polígono | Superficie superior    | Superficie inferior |
|--------------------|------------------------|---------------------|
|                    | Piso de manto superior | Topografía actual   |
|                    | Topografía anterior    | Topografía actual   |
|                    | Topografía anterior    | Techo de carbón     |
|                    | Piso de manto superior | Techo de carbón     |

Fuente. Resultado de la investigación

Debemos tener muy claro el orden estratigráfico que presentan los mantos, el comportamiento que tienen y las características especiales que vemos cada día en la mina (ver anexo A). Si por ejemplo deseamos calcular los volúmenes de material movido del manto borrego según el color el cálculo debe realizarse así:

- Polígono no rojo: para establecer la superficie superior es necesario encender el layer que contiene los pisos del manto superior estratigráficamente, que depende del área podría ser Rouzaud, Rouzaud B, piso del manto Babilla debido a un área donde Rouzaud no se depositó o se perdió e incluso podría ser el punto de afloramiento del manto en donde el piso contra el que debe calcularse es el de material aluvial. Encendiendo los polígonos de pisos en orden estratigráfico de borrego hacia arriba, verificaremos cual es el piso que se encuentra inmediatamente hacia arriba; definiendo así la superficie superior. Para la superficie inferior en un polígono rojo siempre será la topografía por lo cual no presenta ningún inconveniente (ver anexo B, G y H).
- Polígono verde: el polígono verde es el que suele presentar menor inconveniente, ya que se calcula entre las topografías: basta con conocer el



cambio que hubo en el área que deseamos conocer de una topografía a la siguiente (ver anexo C y G).

- Polígono amarillo: el polígono amarillo la superficie superior corresponde a la topografía anterior y la superficie inferior corresponderá según el ejemplo a el techo del manto Borrego (ver anexo D y G).
- Polígono blanco: la superficie superior corresponde exactamente a la misma que para el polígono rojo, debemos tener en cuenta las mismas consideraciones y análisis. La superficie inferior corresponderá al techo del manto Borrego según el ejemplo (ver anexo E y H).

#### **4.4. CÁLCULO DE VOLÚMENES CON EL SOFTWARE CARLSON.**

Si realizamos un balance de la información que debemos tener organizada llegado este punto obtendremos:

- Una base de datos de puntos correctamente nombrados, organizados y dibujados en el software carlson.
- Polígonos que representan áreas de techo, piso y roca intermedia organizadas en layers según el manto al que pertenecen.
- Polígonos de colores que representan las áreas donde se presentó movimiento de material y dibujados según las características que estos posean.
- Topografía actual y la topografía usada en el último cálculo de volúmenes.
- Superficies creadas en el software carlson a partir de archivos históricos de puntos, ya sea por el método de mallas regulares o por el de la red irregular de triángulos.

El cálculo de volúmenes se debe realizar manto por manto, el orden en que se realiza podemos decidirlo nosotros, teniendo siempre en cuenta que todos los polígonos de colores dibujados deben ser calculados.

El primer paso corresponde a encender los polígonos de colores, el techo y la roca intermedia del manto que vamos a calcular. Luego de esto verificar la superficie que está por encima del manto y finalmente realizar el procedimiento en el software. Los polígonos se calcula uno por uno, teniendo siempre presente que debemos seleccionar correctamente las superficies que lo delimitan.

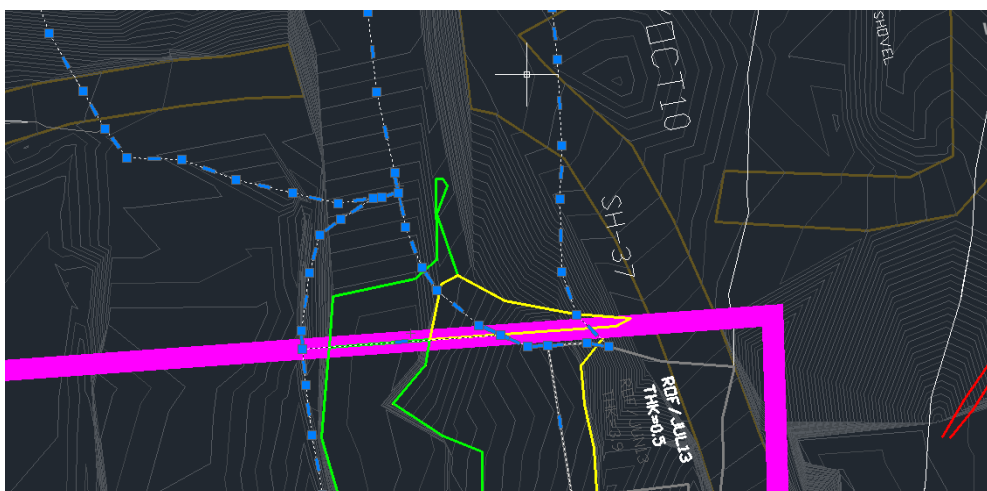
Para un ejemplo tomaremos el manto del que hablamos en el ítem anterior. Al verificar nos damos cuenta que existe un piso de Rouzaud como superficie

superior. A pesar de que el polígono es de color verde y se calcula usando las superficies de topografía (ver figura 53).

- Cálculo de volúmenes mediante archivos de superficie TIN (Red Irregular de Triángulos):

El primer paso es dirigirnos en la barra de menú a **Surface, Volumes By Triangulation** y clicamos **Two Triangulation Surface Volumes**. Luego seleccionamos las dos superficies entre las que vamos a calcular dependiendo del color del polígono que hemos decidido calcular. En este caso debemos seleccionar las superficies de topografía del mes anterior y la del mes actual.

**Figura 53.** Verificación de superficies para realización de cálculos



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

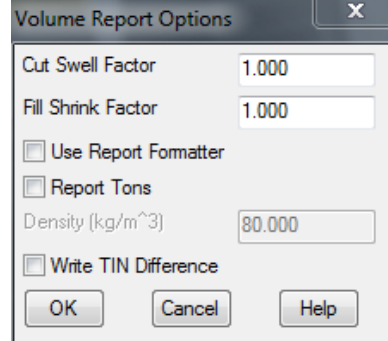
El siguiente paso consiste en seleccionar el polígono al que calcularemos el volumen, seguido de **Enter**, para este tipo de cálculo no aplica usar polígono de exclusión por lo tanto damos **Enter** nuevamente. Debemos esperar que finalice el proceso de cálculo.

Una vez finalizado el proceso de cálculo aparecerá una ventana donde podemos seleccionar entre las opciones un factor de hinchamiento o de compresión, un formato para que el software produzca un reporte, las toneladas que representa el volumen si poseemos la densidad y una superficie volumétrica que grafica la diferencia existente entre las dos superficies en el área calculada. Seguidamente presionamos **OK** (ver figura 54).

Finalmente en el reporte podremos observar el volumen de corte, el volumen de lleno, el área en corte, el área en lleno, el área de cálculo, el promedio de corte. El orden en que hayamos escogido las superficies nos definirá si el volumen movido en el mes aparece como volumen de corte o de lleno; se recomienda escoger primero la superficie superior y luego la inferior, dándonos como resultado un volumen de corte (ver figura 55).



**Figura 54.** Configuración del reporte



Fuente. Software Carlson y trabajo de oficina

**Figura 55.** Reporte del software (TIN)

```
Volumes by Triangulation (Prisms)                               Sat May 24 11:23:23 2014
Existing Surface: Z:\USERS\PRACTICANTE\CAPACITACION_TUTO\TINS\TOPO_ANTERIOR.tin
Final Surface:   Z:\USERS\PRACTICANTE\CAPACITACION_TUTO\TINS\TOPO_ACTUAL.tin

Cut  volume: 13,181.37 C.M.
Fill volume: 0.00 C.M.

Area in Cut: 1,117.71 S.M.
Area in Fill: 0.00 S.M.
Total inclusion area: 1,117.71 S.M.

Average Cut Depth: 11.79 meters
Export Volume: 13,181.4 C.M.
Elevation Change To Reach Balance: 11.793
Volume Change Per .1 m: 111.8 C.M.
```

Fuente. Software Carlson y trabajo de oficina

- Cálculo de volúmenes mediante archivos de superficie GRID (Mallas regulares):

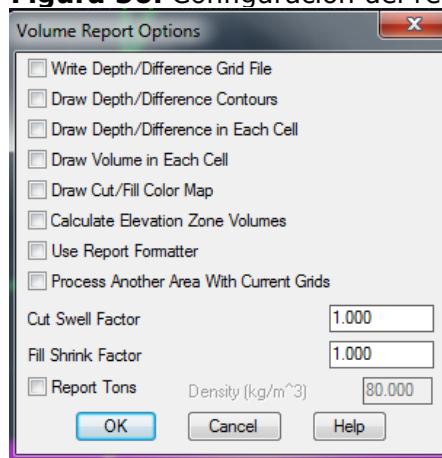
Las condiciones de cálculo son parecidas para un archivo GRID o un archivo TIN, la diferencia es el menú donde creamos y calculamos las superficies. Para las superficies GRID se calcula así:

El primer paso es dirigirnos en la barra de menú a **Surface** y clicamos **Two Grid Surface Volumes**. El siguiente paso consiste en seleccionar el polígono al que calcularemos el volumen, seguido de **Enter**, para este tipo de cálculo no aplica usar polígono de exclusión por lo tanto damos **Enter** nuevamente.

Luego seleccionamos las dos superficies entre las que vamos a calcular dependiendo del color del polígono que hemos decidido calcular. En este caso debemos seleccionar las superficies de topografía del mes anterior y la del mes actual. Debemos esperar que finalice el proceso de cálculo.

Una vez finalizado el proceso de cálculo aparecerá una ventana donde podemos seleccionar entre las opciones un factor de hinchamiento o de compresión, crear un archivo que contenga la superficie volumétrica de la diferencia entre las dos GRIDS, dibujar en el modelo la diferencia entre los contornos de las dos GRID, la diferencia cuadrícula a cuadrícula, un mapa de colores del corte o relleno en el área de cálculo; También existe la opción de calcular las zonas de elevación de los volúmenes, usar un formato para generar el reporte, la opción de calcular otro volumen usando las mismas GRID en otra área y la opción de mostrar el número de toneladas que representa ese volumen si añadimos la densidad del material. Seguidamente presionamos **OK** (ver figura 56).

**Figura 56.** Configuración del reporte



Fuente. Software Carlson y trabajo de oficina

Finalmente al igual que en el reporte de la TIN podremos observar el volumen de corte, el volumen de lleno, el área en corte, el área en lleno, el área de cálculo, el promedio de corte. El orden en que hayamos escogido las superficies nos definirá si el volumen movido en el mes aparece como volumen de corte o de lleno; se recomienda escoger primero la superficie superior y luego la inferior, dándonos como resultado un volumen de corte (ver figura 57).

**Figura 57.** Reporte del software (GRID)

```
Volume Report                                     Mon May 26 09:15:56 2014
Comparing Grid: Z:/USERS/PRACTICANTE/CAPACITACION_TUTO/Grids/TOPO_VIEJA.grd
and Grid: Z:/USERS/PRACTICANTE/CAPACITACION_TUTO/Grids/TOPO_NUEVA.grd
Grid corner locations: 1056632.94,1543412.15 to 1075492.94,1555512.15
Grid resolution X: 1886, Y: 1210 Grid cell size X: 10.00, Y: 10.00
Area in Cut : 1,117.0 S.M.
Area in Fill: 0.0 S.M.
Total inclusion area: 1,117.0 S.M.
Average Cut Depth: 11.90
Max Cut Depth: 21.28
Cut volume: 13,288.46 C.M.
Fill volume: 0.00 C.M.
```

Fuente. Software Carlson y trabajo de oficina

#### **4.5. CÁLCULO DE INVENTARIOS DE CARBÓN**

Los inventarios de carbón se analizan desde dos perspectivas, una primera que hace referencia a la cantidad de carbón destapado disponible para su extracción dentro de la mina (carbón que corresponde a techo o carbón medio) y una segunda que hace referencia al carbón que ya ha sido extraído y que se encuentra apilado en patios de acopio (load-out).

El cálculo de los inventarios dentro de la mina nos da una proyección del carbón que será extraído a corto plazo, y al realizarlo con intervalos no muy grandes nos darán un control de la producción que tendremos. Estos cálculos incluyen un porcentaje de recuperación que es único para cada manto, que ha sido determinado mediante el estudio histórico del comportamiento que tiene cada manto en cada área de la mina. Para un adecuado control del carbón disponible dentro de la mina es fundamental el trabajo día a día de la comisión de topografía, actualizando por medio de la información adquirida el avance que se ha tenido en cada área.

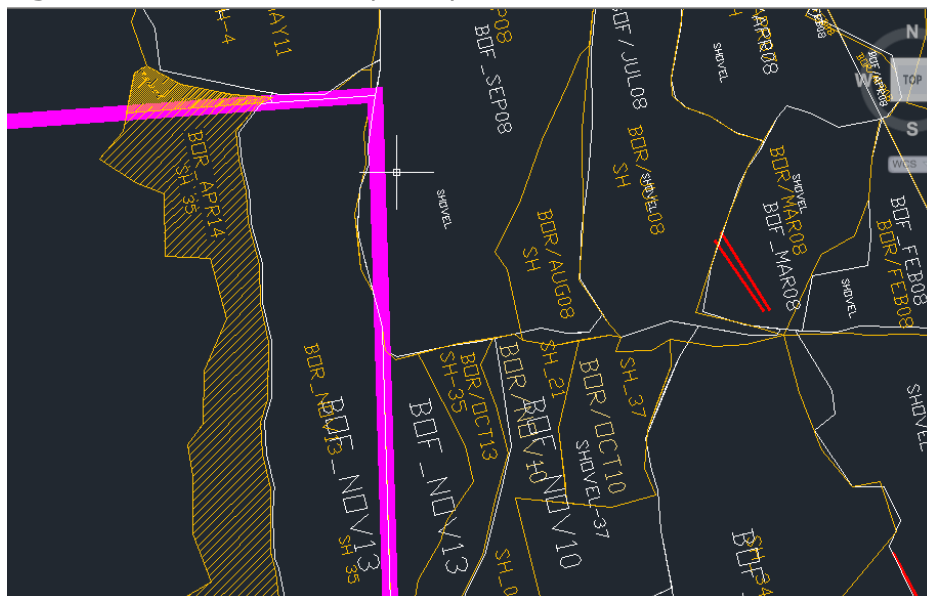
Para el cálculo de inventarios de carbón debemos tener en observar y referenciar los mantos de carbón que se encuentran destapados o en explotación actualmente, ya teniendo clara esta información lo siguiente es verificar por medio de los datos tomados por topografía que la información vista en campo este correctamente tomada.

La manera de verificar el carbón que actualmente se encuentra destapado en la mina es mediante la interacción entre layers en el software carlson; encendiendo los polígonos de techo de un manto y los de piso de ese mismo manto, encontraremos que donde sobresalga el techo y no exista piso es el carbón que tendremos actualmente disponible (ver figura 58). De manera contraria no es posible que encontremos piso sin antes haber tenido techo de ese mismo manto.

Una vez verificada la información vista en campo con la tomada por la comisión de topografía (deben coincidir perfectamente) evaluamos las áreas que tenemos disponibles, con la diferencia de que en los volúmenes para carbón usamos los espesores suministrados por la comisión de topografía en los puntos de piso de carbón. De esta manera para el carbón descubierto en determinada área usaremos el espesor que se obtuvo de los puntos de piso que estén más cercanos a ese punto. Este cálculo se realiza de esta manera con el fin de obtener un valor más preciso ya que es un ajuste previo al porcentaje de recuperación que se le realiza a cada manto. Los espesores los podemos observar llamando la referencia

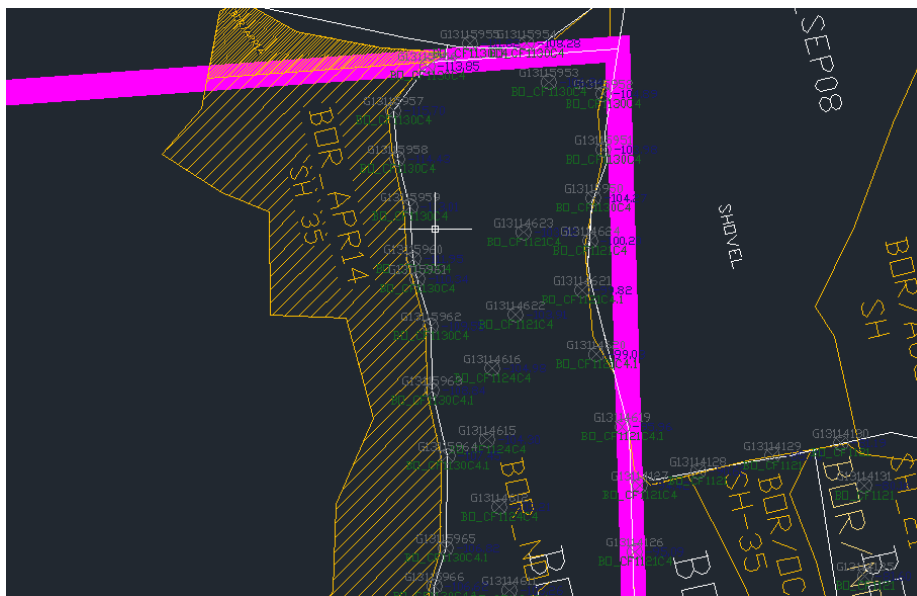
de los puntos de piso de carbón de la fecha que está más cercana al área que se encuentra destapada.

**Figura 58.** Verificación de pisos y techos en el software



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 59.** Identificación de inventario de carbón

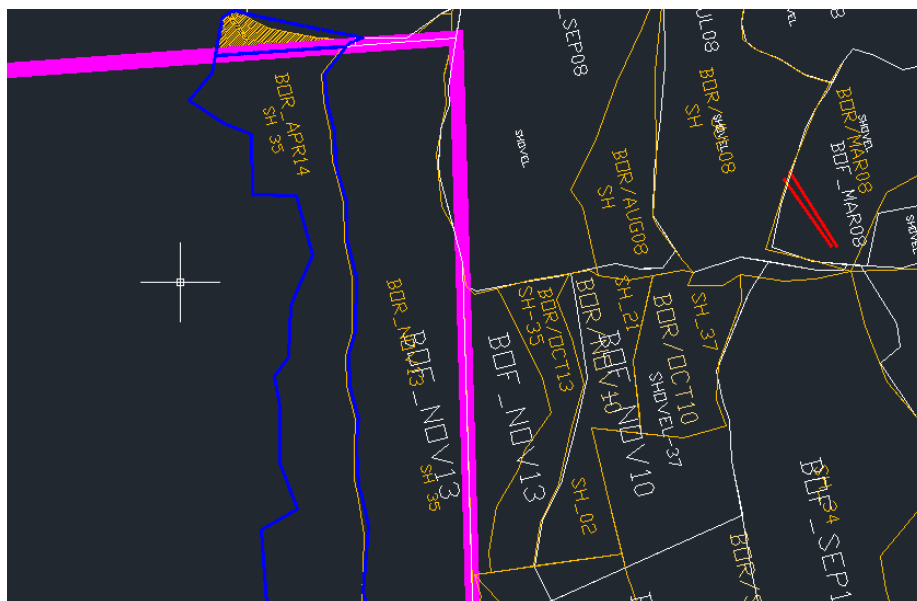


Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Para un ejemplo trabajaremos un espesor de carbón de 4m, el área disponible sería desde donde está la línea de piso de carbón hasta donde termina la línea de techo de carbón. Este polígono lo dibujamos con línea azul un poco más gruesa que la convencional y debe ir en un layer llamado inventario (con el secuencial ya

especificado que lleva cada manto; por ejemplo: 13\_BO-Inventario) (ver figuras 59 y 60).

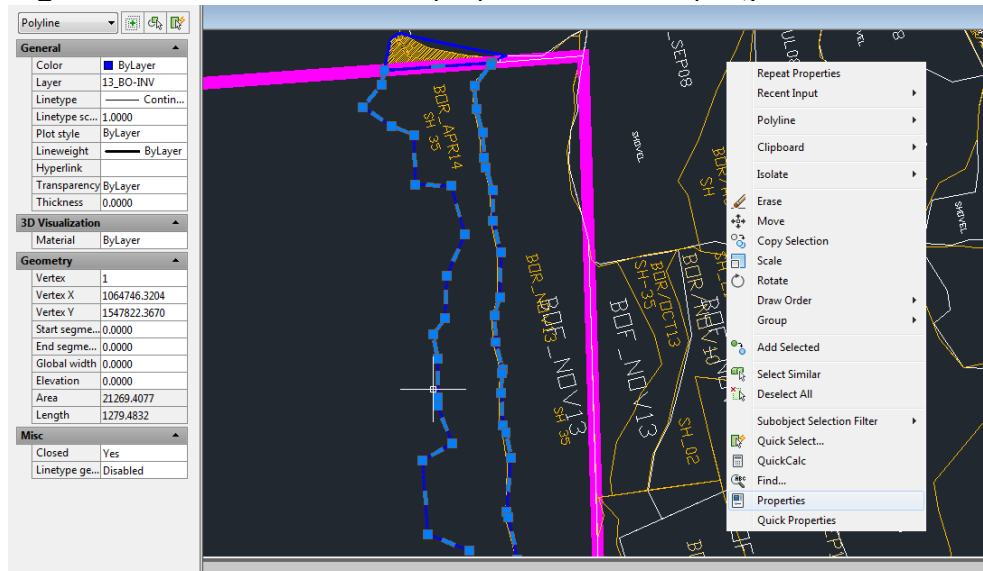
**Figura 60.** Demarcación de inventario de carbón



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

El área del polígono podemos conocerla seleccionándolo y dirigiéndonos a propiedades (clic derecho, **Propierties**). Si queremos saber cuántas toneladas tenemos disponibles solo basta multiplicar el área, por el espesor, por el peso específico (en la mina se trabaja con 1.3) y obtenemos las toneladas que representa ese polígono (ver figura 61).

### Figura 61. Observación de las propiedades de los polígonos



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

#### 4.6. CÁLCULO DE PILAS DE CARBÓN

El cálculo de las pilas ya es un cálculo mucho más real y de alta precisión que nos muestra realmente cuanto carbón se extrajo de la mina; cada pila debe tener especificado que mantos de carbón posee, manejándose siempre mantos de características similares en las mismas pilas (ver anexo K).

El carbón que es extraído de la mina es llevado a pilas o al sitio de cargue de trenes (Load-Out), estas acumulaciones de carbón representan el real extraído de la mina y en base a este es que se realizan los ajustes al porcentaje de recuperación para cada manto.

Para el cálculo de pilas de carbón se introducen a nuestro vocabulario nuevos términos de topografía. Estos corresponden a los puntos O y a los puntos T (ver figura 62):

- Los puntos O: corresponden a los puntos de la base de la pila. Estos nos delimitan la parte más baja de la pila, permitiéndonos crear una superficie casi plana que representa el piso de la pila.
- Los puntos T: corresponden a los puntos de cresta; son los puntos que delimitan todos los picos y cambios de altura que se presentan en toda la pila, permitiéndonos crear una superficie de alta precisión que representa todos los altibajos y variaciones que posee cada pila en todos sus sectores.

El procedimiento para calcular las superficies es similar pero con algunas consideraciones en el proceso:

El primer paso consiste en encender solo los puntos O, y delimitar el área del piso de la pila con un polígono, el siguiente paso es apagar los puntos O y encender los puntos T; verificando que ningún punto T se salga del polígono ya que no puede existir un punto elevado sin que este posea un por debajo que le de sostén. En caso de existir un punto por fuera es necesario consultar con topografía un posible error en la toma de datos (ver figura 63).

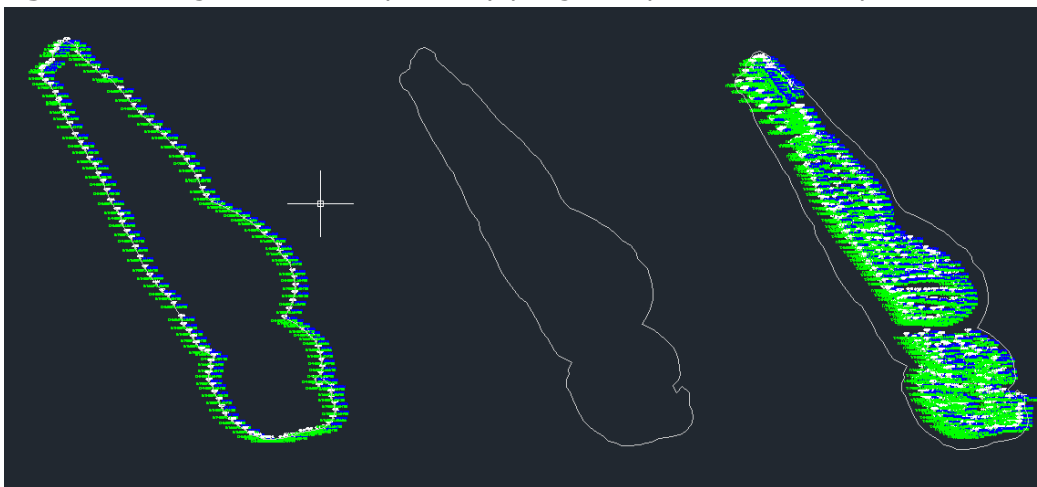
El siguiente paso consiste en crear las superficies, una solo con los puntos O encendidos en la cual nuestra área de inclusión es el polígono que delimitamos (para ambas superficies) y que nos dará como resultado una superficie casi plana y otra con los puntos O y T encendidos que nos dará como resultado una especie de cono hueco con muchos picos que representara la superficie superior de la pila.

**Figura 62.** Vista aérea de una pila de carbón.



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 63.** Organización de puntos y polígonos para cálculo de pilas

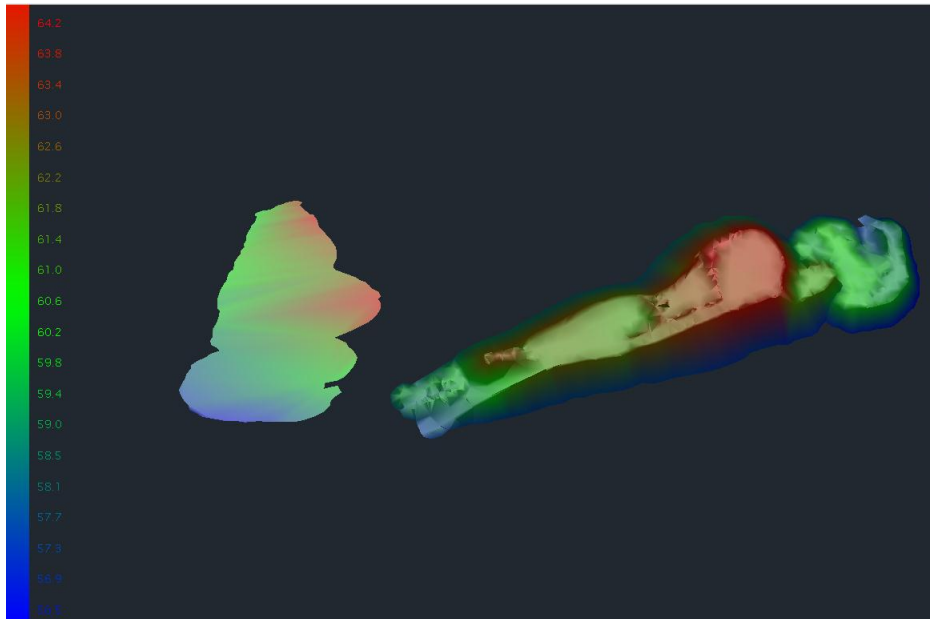


Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

En la mina pribbenow de Drummond Ltd. se utiliza el método TIN para el cálculo de pilas de carbón, finalmente tendremos nuestra superficie de techo y nuestra superficie de piso (ver figuras 64 y 65).

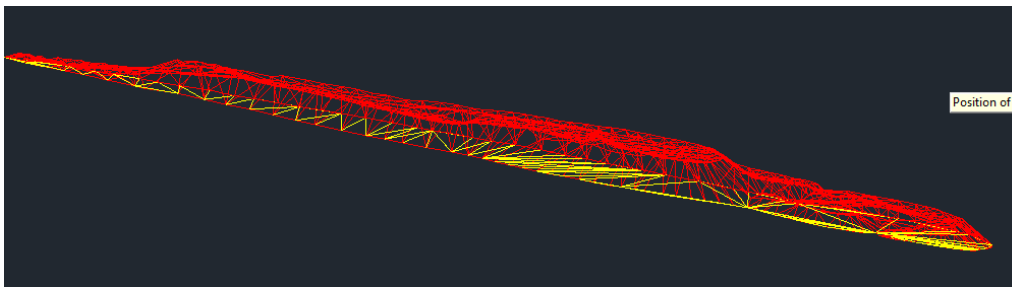


**Figura 64.** Superficie de base y techo de una pila de carbón



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 65.** Triangulación de techo y piso de una pila superpuestas



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Para hallar el volumen se procede de la misma manera en que vimos en los numerales anteriores (ver figura 66).

**Figura 66.** Reporte del cálculo de una pila de carbón

```
Volumes by Triangulation (Prisms)                               Mon May 26 16:00:26 2014
Existing Surface: Z:\USERS\PRACTICANTE\CAPACITACION_TUTO\Pilas\T.tin
Final Surface:    Z:\USERS\PRACTICANTE\CAPACITACION_TUTO\Pilas\O.tin

Cut  volume: 467,802.31 C.M.
Fill volume: 0.00 C.M.

Area in Cut: 47,114.63 S.M.
Area in Fill: 0.63 S.M.
Total inclusion area: 47,119.64 S.M.

Average Cut Depth: 9.93 meters
Export Volume: 467,802.3 C.M.
Elevation Change To Reach Balance: 9.928
Volume Change Per .1 m: 4,712.0 C.M.
```

Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

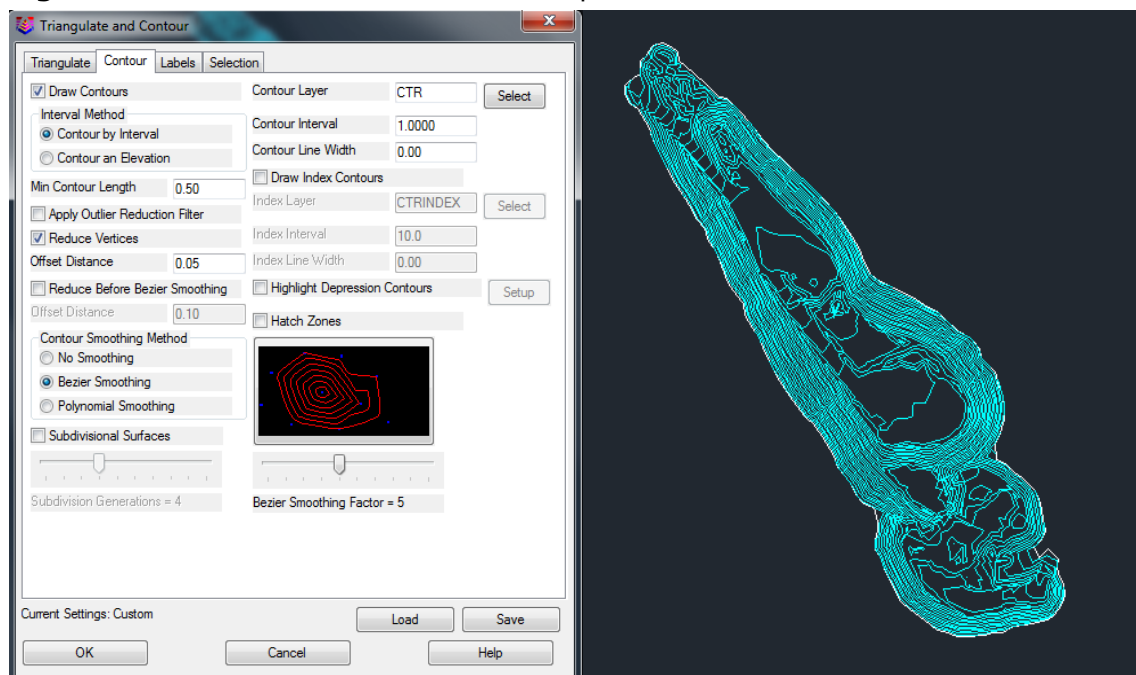


Adicionalmente al cálculo de volúmenes las pilas de carbón se contornean, con el fin de obtener una imagen real del estado actual en que se encuentran. Para los contornos debemos tener en cuenta algunos parámetros adicionales.

En primera medida nos dirigimos en la barra de menú a **Surface, Triangulate and Contour**, en la pestaña de **Triangulate** deben estar desmarcadas las 4 primeras opciones, ya que trabajaremos la parte de contornos y no de triangulación. En la pestaña **Contour** marcamos la opción **Draw Contours** para que nos habilite las funciones de contornos. Las opciones de configuración nos dan la posibilidad de elegir el layer en el que queremos que se dibujen los contornos, la distancia que queremos entre elevación y elevación o si queremos que el software aplique algunas características especializadas.

Una vez seleccionadas las características que deseamos nos da la opción de escoger el polígono de inclusión que será el mismo creado con los puntos O; seguidamente le damos **Enter**, y nuevamente **Enter** para que no exista polígono de exclusión. Seleccionamos los puntos O y T para realizar el procedimiento y finalmente damos **Enter** nuevamente (ver figura 67).

**Figura 67.** Creación de contornos de una pila de carbón

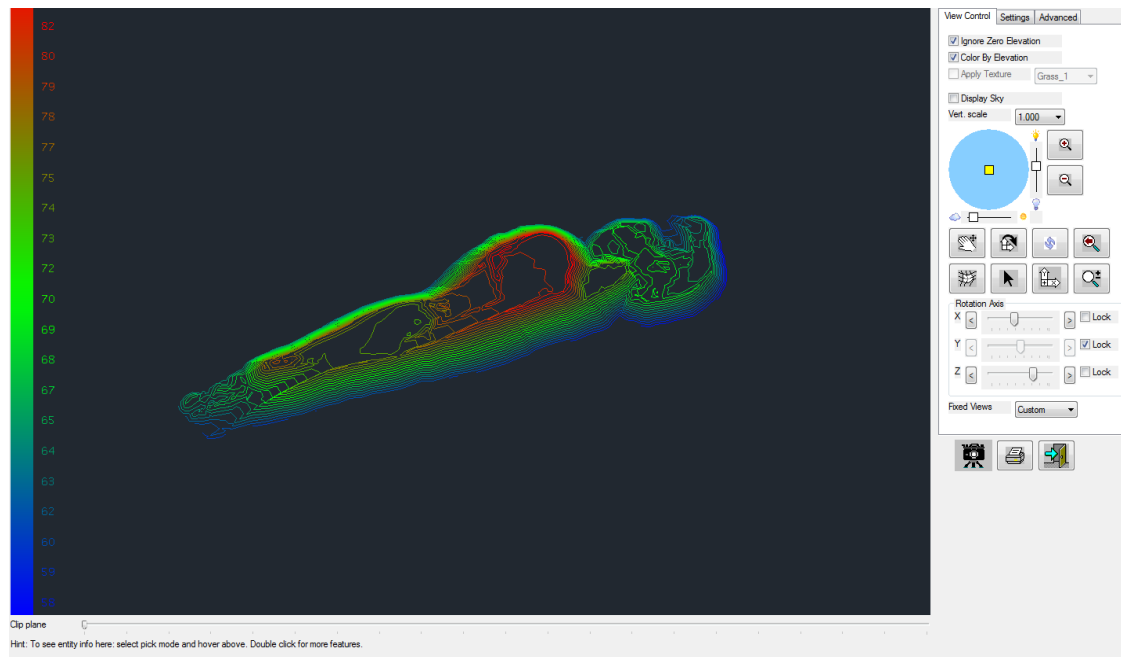


Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Los contornos creados son líneas en 3D vistas desde un plano bidimensional. El software carlson tiene la opción de permitirnos ver los objetos 3D en el modelo directamente digitando la opción **Orbit** o con el visor con la opción **Cube**, esta

última nos permite seleccionar del modelo un área rectangular llevándola al visor y permitiéndonos interactuar con esta (ver figura 68).

**Figura 68.** Vista de los contornos de la pila con la herramienta Cube

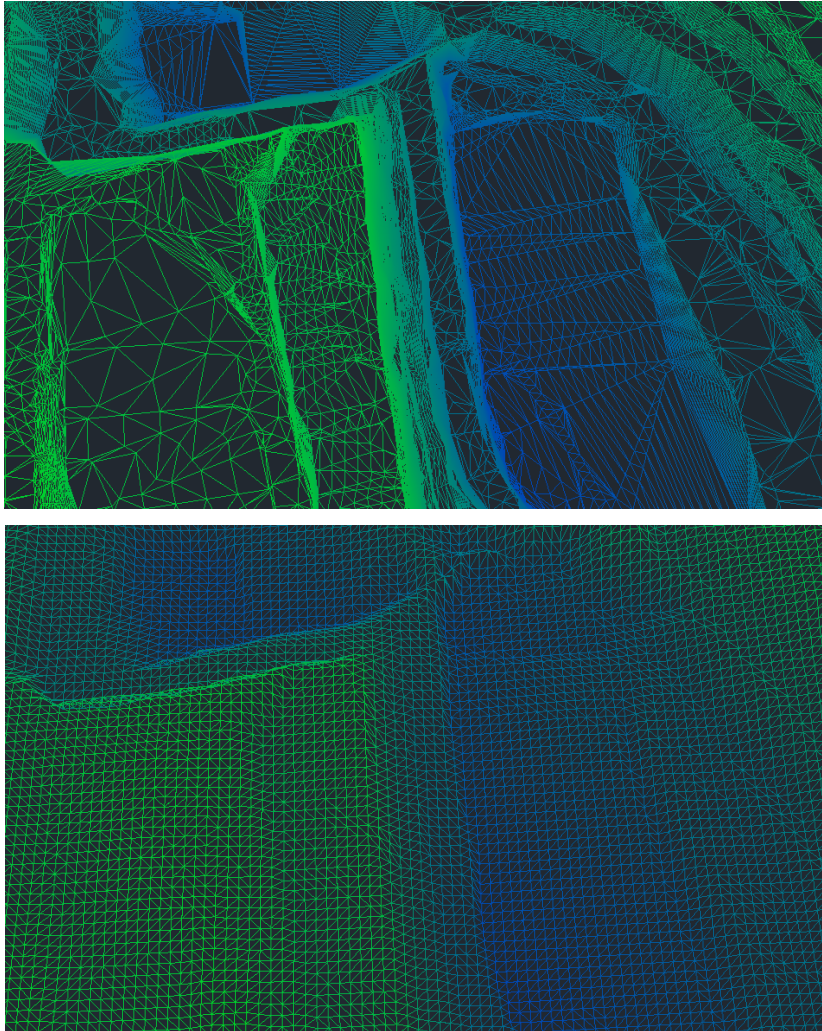


Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y APLICACIONES

### 5.1. ANALISIS DE LOS METODOS DE CREACION DE SUPERFICIES

**Figura 69.** Superficie topográfica creada mediante TIN (arriba) y GRID (abajo)



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

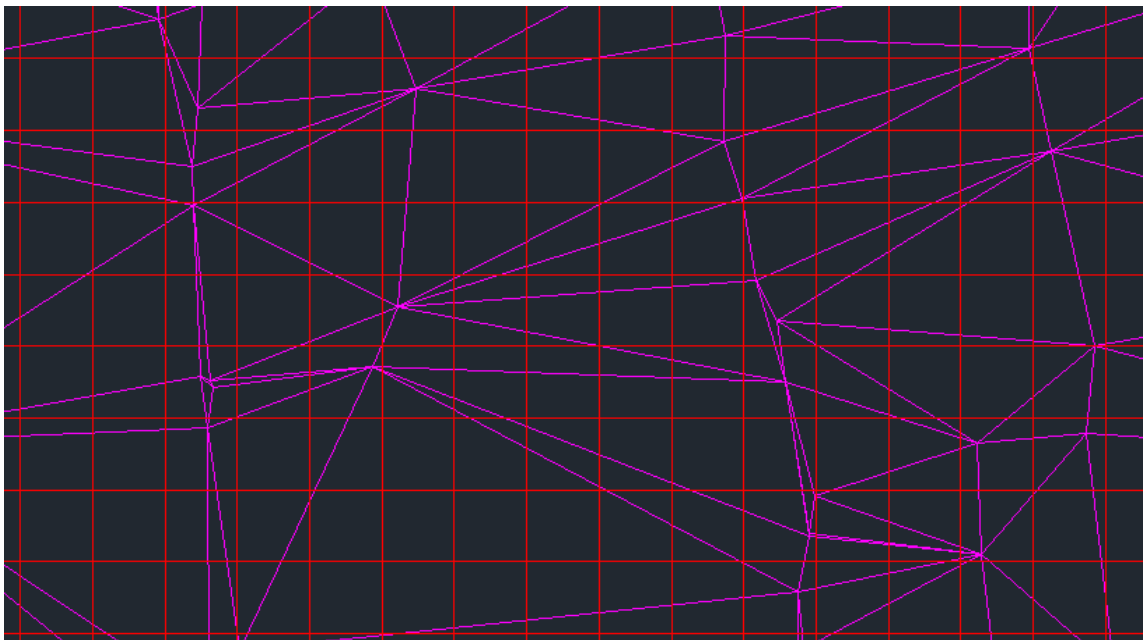
Para evidenciar las diferencias se comparó una topografía creada con una TIN y una GRID (ver figura 69).

Cuando trabajamos con grandes volúmenes de roca es importante tener en cuenta el factor de precisión necesario para que el proceso de ingeniería sea satisfactorio, así como los ajustes que en determinados casos debemos hacer para que los datos tomados sean lo más cercano posibles a la realidad.

Si analizamos partiendo desde la teoría los dos métodos de cálculo de superficies usados en la mina Pribbenow de Drummond Ltd. el método de triangulación es un método de mayor complejidad en el cual todos los puntos de una nube de datos pueden ser utilizados para brindarnos una superficie lo más cercada a la realidad, a pesar de no ser totalmente estilizada. Por otra parte las mallas regulares usan como base la interpolación para hallar la elevación de los nodos de cada cuadrícula, dándonos como resultado una superficie mucho más suavizada pero con una precisión un poco menor; cabe resaltar que si la malla es lo suficientemente pequeña el margen de error se acercara a cero.

Si partimos el análisis mediante la comparación de resultados obtenidos con cálculos en el software carlson, encontramos que las diferencias en los cálculos están por debajo de 1% para mallas de 20x20, por debajo del 0.1% para mallas de 10x10 y diferencias prácticamente nulas para mallas de 5x5. La razón por la cual se presentan estos resultados tan parecidos radica tanto en las dimensiones de la GRID como en las de los triángulos formados al realizar la TIN; al dibujar las superficies en el modelo se encontró con la característica de que en cada triangulo están contenidos aproximadamente 10 cuadrados para GRIDS de 5x5, 4 cuadrados para GRIDS de 10x10 (usado en la mina); y si partimos del concepto de que la GRID se dibuja sobre una TIN ya realizada, nos deja claro que los cálculos hechos con ambos será prácticamente iguales con un tamaño de archivo superior para las GRID (ver figura 70).

**Figura 70.** Superposición de una GRID a una TIN



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Dentro el ámbito de creación de GRID existe un concepto determinante en la precisión a la hora de crearlas. Este aspecto tiene que ver con la posición de la GRID, que si bien la determinamos a la hora de calcular cada una, nos generara un margen de error el calcular dos GRID que están posicionadas de manera distinta.

Para llegar a unas conclusiones bien fundamentadas es preciso realizar una comparación de los dos métodos de creación de superficies (ver cuadro 6).

**Cuadro 7.** Paralelo de TIN vs GRID

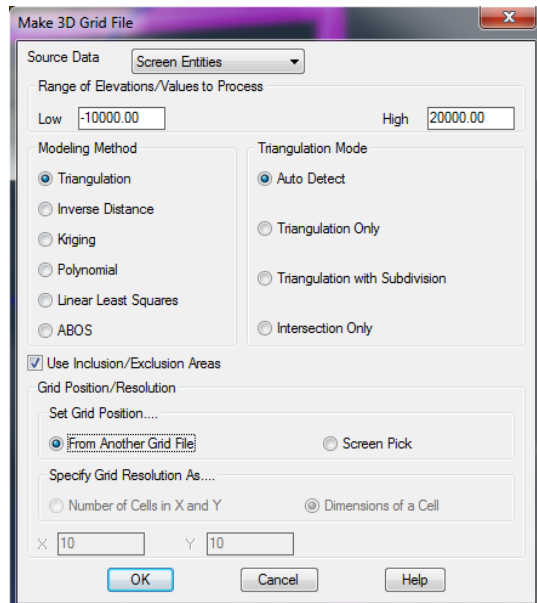
| TIN   | GRID   |
|---|--|
| Es posible describir zonas de la superficie con mayor precisión (varios tipos de resolución)  | Imposibilidad de utilizar distintos tamaños de celda en un mismo archivo de superficies  |
| Eficiencia en el manejo de datos  | A mayor resolución, mayor peso de archivo.   |
| Si la nube de puntos es muy densa, aumenta considerablemente los requerimientos sistemáticos para su adecuado funcionamiento.                 | Su mayor precisión es alcanzada cuando la nube de puntos es regular (difícilmente posible en minería)  |
| Mejor representación real de los valores numéricos dibujados, y relieve más definido a pesar de que posee un menor suavizado.                 | Las superficies generadas son bastante suavizadas, la precisión dependerá directamente del tamaño de las celdas.   |
| El tamaño de los archivos puede verse significativamente agrandado cuando se procesan curvas de nivel; pero con un modelado bastante acertado | A pesar de que el modelado es muy suavizado, las GRIDS generadas a partir de curvas de nivel poseen un peso significativamente menor, con diferencias despreciables en los cálculos. |

Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

En pruebas realizadas con distintas GRID, analizando los factores que influyen en la precisión o error en los procedimientos, se llegó a la conclusión de que para que el cálculo entre dos superficies de mallas regulares sea más preciso, es necesario que la posición de la GRID de las superficies entre las que vamos a calcular sea exactamente la misma, siendo para esto necesario que todas las superficies sean creadas usando la misma posición de GRID. Para este procedimiento debemos escoger la posición de la GRID en un área lo suficientemente extensa, en la que sean abarcadas todas las superficies que se van a crear; de esta manera al crear el resto de superficies siempre escogeremos **From Another Grid File** y seleccionamos la superficie que creamos de tal manera que cuando el software realice el cálculo siempre este cuadro sobre cuadro aumentando la precisión (ver figura 71).

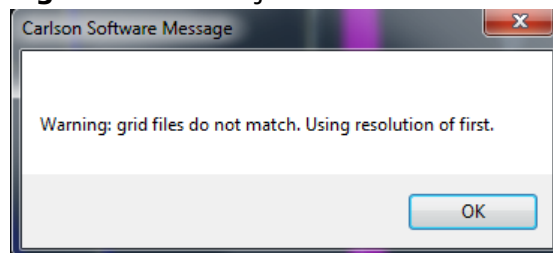
Cuando calculamos volúmenes entre superficies que no poseen la misma resolución, el programa nos mostrara una ventana de alerta (ver figura 72), indicándonos que el ajustara la resolución de una de las GRID para que pueda calcularse con la otra. En este punto se genera un margen de error que podría evitarse siguiendo los pasos anteriores.

**Figura 71.** Creación de una GRID basada en otra



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

**Figura 72.** Mensaje de alerta cuando no son correctas las GRID



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

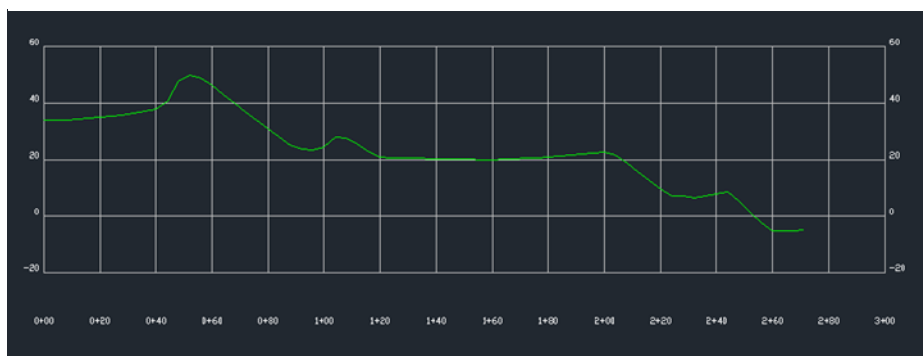
Este mismo inconveniente se presentara cuando calculamos volúmenes entre superficies con tamaños de cuadrícula diferentes, presentara una variación aunque no considerable (alrededor del 1-2%) en el cálculo de los volúmenes deseados.

## **5.2.USOS Y APLICACIONES DEL CÁLCULO DE SUPERFICIES Y CONTORNOS**

Los usos que pueden darse a las superficies halladas con el software carlson pueden variar desde usos netamente topográficos hasta obras civiles y mineras, una superficie bien representada puede ser la base para la realización de mapas topográficos y geológicos; el software permite la inclusión de accidentes geológicos o civiles como ríos, lagos, carreteras, taludes, entre otros. Añadiendo detalle y correcciones a las partes de mayor interés.

Los perfiles topográficos, al igual que los obtenidos a partir de mapas topográficos de curvas de nivel, permiten observar la variación de la altitud a lo largo de un trayecto definido por el usuario (ver figura 73). Una de las aplicaciones más habituales es el análisis de las formas del terreno y del apoyo a la descripción de las unidades de relieve; de esta misma manera si poseemos superficies bien definidas de un terreno en dos épocas distintas permite el análisis de los cambios en el relieve. En la figura podemos apreciar un perfil realizado en base a una superficie, para el cálculo se dibuja una línea en 2D sobre un área que este dentro de la superficie y con el módulo de Civil podemos interactuar con una amplia gama de opciones para la realización de estos perfiles.

**Figura 73.** Perfil topográfico creado en carlson



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

Las aplicaciones del cálculo de superficies en minería nos brindan un apoyo real y preciso de lo que estamos trabajando, siendo una herramienta clara para el diseño y planeación minera.

La creación de contornos es fundamental para la representación adecuada de la topografía, las curvas de nivel son de las herramientas más eficientes a la hora de inspeccionar y analizar planos. A partir de una nube de puntos global es posible la creación de la topografía de un terreno mediante contornos, siendo necesario en el caso minero de analizar los puntos tomados durante un periodo a otro, con el fin de depurar la información para dejar los puntos más recientes; para esto hace falta tener bien claro cómo se encuentra la topografía de la mina, las fechas de los puntos tomados y las áreas que requieren mayor detalle (es posible que en algunas áreas la topografía no haya variado).

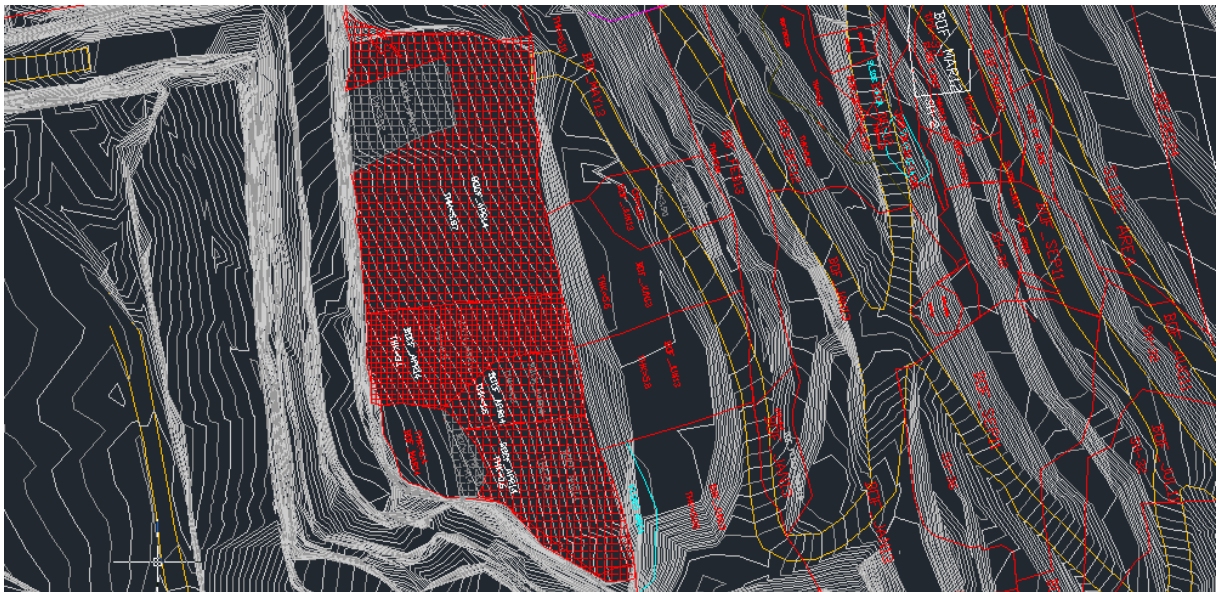
Una vez tengamos una superficie o un contorno mediante el software Carlson podemos analizar las pendientes (prediciendo el posible flujo y ubicación de las aguas dentro de la mina), realizar la actualización de vías, ubicar de manera precisa cualquier equipo u objeto referenciado (los camiones y palas poseen un dispositivo GPS con el cual es posible ubicarlo dentro de la mina).

Cabe resaltar la utilidad que posee el hecho de tener organizados los techos y pisos de cada manto, permitiéndonos interactuar entre las herramientas del



software, por ejemplo ubicar un carbón destapado sobre la topografía para analizar la mejor manera de acceder a él (mediante una referencia externa), o analizar las características de un banco calculando su volumen para predecir el tiempo que tardara una pala de x capacidad en extraerlo. Si observamos el piso del manto borrego, que es el manto más bajo que es explotado en la mina Pribbenow de Drummond Ltd., el área que esta achurada representa lo que se trabajó en el mes de abril por tanto podemos observar que la topografía posee la misma forma que este (ver figura 74).

**Figura 74.** Análisis posibles con el software carlson



Fuente. Resultado de la investigación en el software Carlson

### 5.3. ANÁLISIS, USOS Y APLICACIONES DEL CÁLCULO DE VOLÚMENES EN MINERÍA.

Hasta el momento se ha mostrado el procedimiento y las variantes para calcular volúmenes en minería; pero una vez tenemos las cifras ¿qué hacemos con ellas?

Son muchas las aplicaciones que podemos darle al cálculo de volúmenes, siendo una de ellas la cuantificación y registro de la cantidad movida de material en cierta cantidad de tiempo; permitiendo de esta manera la realización de la estructura de costos del proceso tanto de desarrollo como de explotación en la mina.

Medir la producción es vital para establecer la rentabilidad de un proyecto, términos como la relación de descapote y valores límite, pueden ser constatados mediante la referenciación que tenemos de un volumen que fue calculado; de esta misma manera el análisis de los comportamiento de nuestro terreno en cuanto a nuestro material de interés (en este caso de carbón) que en conjunto con el



modelo geológico que se construye cuando se inicia el proyecto, nos dan las bases para la planificación futura en zonas de dificultad.

Acceder a información precisa de manera rápida y eficiente es una herramienta que nos permite constatar y corroborar información que vemos en campo; logrando así un equilibrio y diseños más acertados a la hora de realizar tanto la planeación como la ejecución de un proyecto.

En los trabajos de voladura, en la nomenclatura se toma la profundidad que tienen los barrenos de los extremos, dándonos con esto un valor aproximado de la profundidad que se voló, información que puede ser en determinado caso solicitada al área de voladuras. Con esta información podemos saber exactamente el volumen de material estéril que esta volado y listo para ser movido por las palas, volumen que es fundamental para planear los tiempos de las palas, las áreas disponibles y los espesores que encontraremos; con el fin de organizar correctamente nuestra planeación.

Los volúmenes de material estéril dispuestos en los botaderos, pueden ser corroborados o calculados mediante superficies creadas en base a la topografía inicial y a la topografía actual con el fin de obtener de manera global un valor total de estéril que se halla actualmente dispuesto en los sitios de botaderos.

#### **5.4. CAMPOS DE ACCIÓN DEL SOFTWARE CARLSON**

Los campos de acción del software Carlson pueden variar según el modulo con el que estemos trabajando, permitiéndonos escoger entre una amplia gama de utilidades que permiten realizar desde procesamiento y cálculos, hasta diseños y estructuras complejas no solo de minería sino de áreas afines de igual manera.

Carlson software Inc. normalmente trabaja con paquetes dependiendo de la obra en la que se desee trabajar, un paquete de obras civiles que incluye los módulos de topografía, hidrología, GIS y civil; que son la base para el desarrollo de obras de este tipo.

Estos módulos son la base para el correcto funcionamiento del software, mediante sus herramientas podemos organizar acertadamente la información tomada de campo para posteriormente analizarla y procesarla en los trabajos que requerimos. Una de las herramientas más llamativas es la del ***“Field to Finish”***, herramienta de la cual ya hemos hablado en los numerales anteriores. En este mismo marco permite la creación de superficies de terreno y por medio de estas su análisis y cálculo de volúmenes de material.

El paquete de minería incluye los módulos de geología, minería subterránea y minería superficial, permitiendo el desarrollo de labores mineras partiendo desde los estudios geológicos hasta el diseño y ejecución del método de explotación.

Es importante en minería que los estudios previos a la explotación sean realizados correctamente; un **modelo geológico** completo que incluya los techos y pisos de todos los mantos de manera aproximada (realizado correctamente con las perforaciones necesarias del caso) permitirá una estimación precisa de los puntos de afloramiento de los mantos, la presencia de fallas, zonas de pérdida, entre otros que serán una gran ayuda a la hora de determinar volúmenes de roca en lugares donde no poseemos información superficial.

Con el software Carlson podemos tener innumerables aplicaciones a casos específicos, algunas de las aplicaciones que se dan en la mina Pribbenow son las siguientes:

- **Diseño de vías:** dentro del módulo Civil el software Carlson posee una gran variedad de menús especializados en diseño, entre ellos hay uno dedicado especialmente a la creación, diseño, modificación y personalización de terrenos para la creación de vías. Permitiendo al usuario escoger entre una gran variedad de opciones para lograr los resultados que este espere, estos también pueden aplicarse a minería.
- **Planeamiento y Ciclos de camiones:** en el módulo de minería superficial están las opciones para designar las áreas que se van a minar en función al material disponible en la mina, esta planeación tiene en cuenta las áreas que están próximas a extraerse, las que estarán disponibles una vez se realice la voladura y permite proyectar en el tiempo como ira el avance de la mina. Para realizar el planeamiento se requiere de un amplio conocimiento y experiencia de las condiciones que se están desarrollando en campo con el fin de lograr que los equipos trabajen con la mayor eficiencia posible.

Con este módulo también es posible diseñar en base al planeamiento creado el avance que tendrán las vías, sus variaciones, nuevos diseños entre otros.

- **Proyectos especiales:** los proyectos especiales como se conocen en la mina Pribbenow de Drummond Ltd., consisten en obras que requieren condiciones especiales para su realización, rampas que requieren relleno y pendientes específicas para conectar lugares de importancia elevada, diseño de botaderos que cumplan rigurosas condiciones de estabilidad, proyectos que requieran estudios geotécnicos, entre muchas otras aplicaciones que pueden realizarse con ayuda del software Carlson.

## CONCLUSIONES

Se conoció de manera completa el funcionamiento general de la mina, estudiando más a detalle los procedimientos utilizados por topografía, plasmando de esta manera el procedimiento por medio del cual se toman los datos usados por el área de ingeniería para el desarrollo de cálculos, análisis y diseño de la explotación.

Se analiza la manera en que se toma la información topográfica en la mina priibbenow de Drummond Ltd., partiendo desde la toma de información con el GPS GR-3 y GR-5 y la manera en que se organiza esta información hasta llegar al software calson.

Se estudia e introducen nociones básicas del software Carlson, profundizando en las características especializadas que eran necesarias para organizar información y realizar los cálculos pertinentes al desarrollo del proyecto, más específicamente el cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón.

Se desglosa de manera clara y concisa el funcionamiento de la herramienta *Field to Finish* como base para el procesamiento y análisis de información en el software carlson, partiendo de una estructura de datos precisa suministrada por el área de topografía.

Se evidencia la utilidad de la herramienta *External References* como apoyo para la interacción de información de diferentes archivos, para constatar, analizar, calcular y procesar información de manera práctica y precisa.

Se muestra a detalle el procedimiento para el procesamiento de datos de topografía, dibujo del avance de la mina, creación de polígonos de colores dependiendo de las condiciones del terreno y el cálculo de volúmenes de estéril usando el software Carlson.

Se analiza el procedimiento usado por el software Carlson para el cálculo de volúmenes de estéril e inventarios de carbón, permitiéndonos estudiar los métodos de cálculo de superficies GRID y TIN y las variaciones que pueden presentar dependiendo de los factores que se tengan en cuenta y los valores ingresados al software Carlson.

Se muestra la manera en que las superficies creadas en el software deben ser muy similares a las condiciones vistas en campo, siento este un mecanismo de verificación de que la creación de la superficie fue correcta.

Se concluye que las diferencias de precisión a la hora de calcular volúmenes entre GRID y TIN son despreciables si el tamaño de la GRID es lo suficientemente

pequeña; punto en el cual el tamaño del archivo de superficie se hace significativamente mayor para la GRID.

Del desarrollo de la práctica se puede observar y concluir que el manejo sistematizado (en este caso ejecutado con el software Carlson) es la mejor alternativa tanto para llevar un control de las labores realizadas en minería como para el diseño de las tareas que se realizarán en adelante. Dando de esta manera una alternativa de profundización que puede mejorar el perfil profesional de un estudiante recién egresado.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda la socialización de este proyecto a toda la comunidad upetecista interesada en obtener una introducción a algunas de las funciones del software Carlson, brindando el total apoyo para la fomentación del uso de esta herramienta sistemática.

Sería de gran utilidad la creación de una nomenclatura general y con terminología totalmente universal que permita la facilidad de comprensión y enseñanza en las instalaciones de la universidad, buscando de esta manera facilidad a la hora de fomentar el uso del software no solo en minería de carbón sino en cualquier tipo de minería.

Es aconsejable que el dibujo, diseño e interpretación basada en los datos de topografía siempre sean constatados en campo, evitando de esta manera errores en los cálculos y análisis producto de errores humanos que puedan llegar a cometerse; por esta misma razón la realización de los procedimientos puede ser compartida o se sugiere que sea verificada y que la persona a cargo sea la de mayor experiencia posible para que el proceso que se esté realizado sea satisfactorio y preciso.

De los análisis realizados a la creación de superficies GRID y cálculos usándolas, se concluye que la creación de estas mallas regulares debe realizarse tomando como base siempre un mismo plano de referencia, con el fin de que al calcular volúmenes con dos superficies los vértices de cada cuadrícula coincidan perfectamente disminuyendo de esta manera el margen de error que pueda presentarse cuando el programa intenta adaptar la resolución de una superficie GRID al tamaño de otra.

## BIBLIOGRAFÍA

Drummond Ltd. Actualización del PMA del proyecto carbonífero la loma, febrero 2006. Departamento ambiental.

Drummond Ltd. Manual de topografía Mina pribbenow, Departamento de Ingeniería.

Drummond Ltd. Procedimiento para la elaboración y actualización del blasting mina pribbenow, Departamento de Ingeniería.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Santafé de Bogotá DC. ICONTEC, 2008. NTC 1486.

Petra Cabrera M. *Normas para la elaboración, presentación y evaluación de trabajos de pregrado, trabajos especiales, especialización, maestría y tesis doctorales*. San Carlos, Octubre 2009.

Martínez-Casanovas, J.A. *Modelos digitales de terreno: Estructuras de datos y aplicaciones en el análisis de formas del terreno y en Edafología*. QUADERNS DMACS Núm. 25, Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida, Lleida, 1999.

Alain De Wulf, Denis Constales, Cornelis Stal, Timothy Nuttens. *Processing and Filtering of Multibeam Data: Grid Modeling versus TIN Based Modeling*. TS06J - Hydrography Development, 5936.

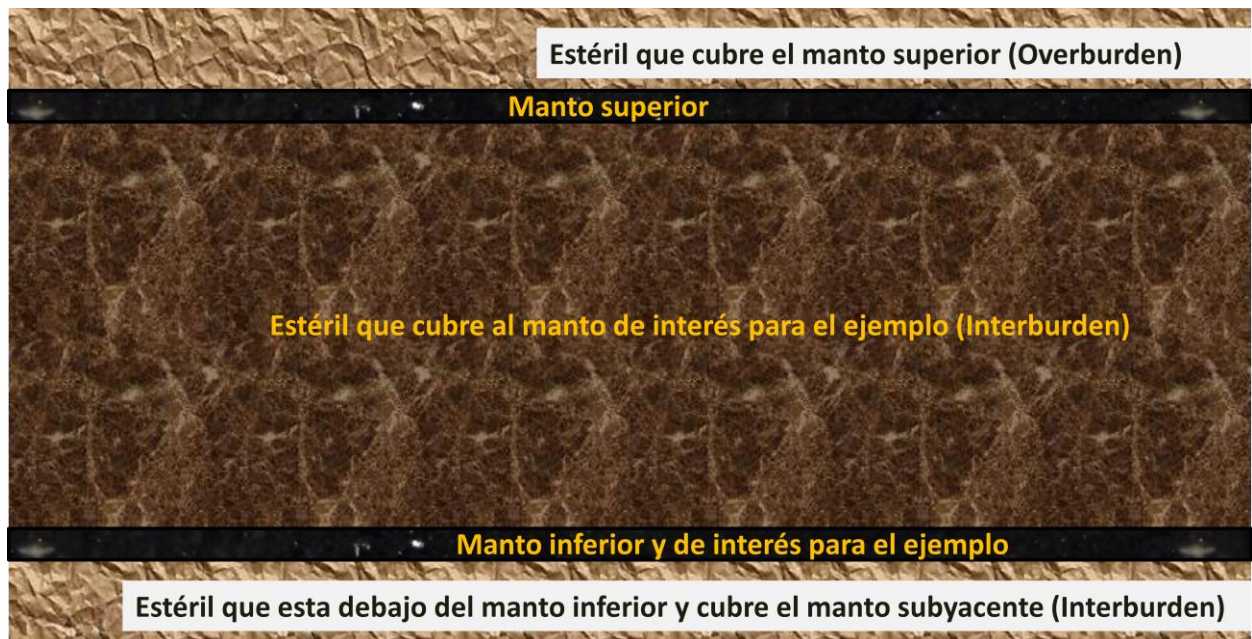
Ianko Tchoukanski, *Triangulated Irregular Network*, 2014, [http://www.ianko.com/resources/triangulated\\_irregular\\_network.htm](http://www.ianko.com/resources/triangulated_irregular_network.htm) [Consulta: sábado, 03 de mayo de 2014].

Laboratory of geographic information systems (LASIG). *Digital Elevation Models: Regular GRID versus Triangulated Irregular Network*, 2013, [http://lasig.epfl.ch/files/content/sites/lasig/files/users/149002/public/LSSR2013/MagdaN\\_25June2013Final.pdf](http://lasig.epfl.ch/files/content/sites/lasig/files/users/149002/public/LSSR2013/MagdaN_25June2013Final.pdf) [Consulta: Lunes, 05 mayo de 2014].

Gende Mauricio, Modelos Digitales de Terreno, 2009, Universidad Nacional de la Plata [http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/index.php/Modelos\\_Digitales\\_de\\_Terreno#Red\\_Irregular\\_de\\_Tri.C3.A1ngulos\\_.28TIN.29](http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/index.php/Modelos_Digitales_de_Terreno#Red_Irregular_de_Tri.C3.A1ngulos_.28TIN.29) [Consulta: sábado, 03 de mayo de 2014].

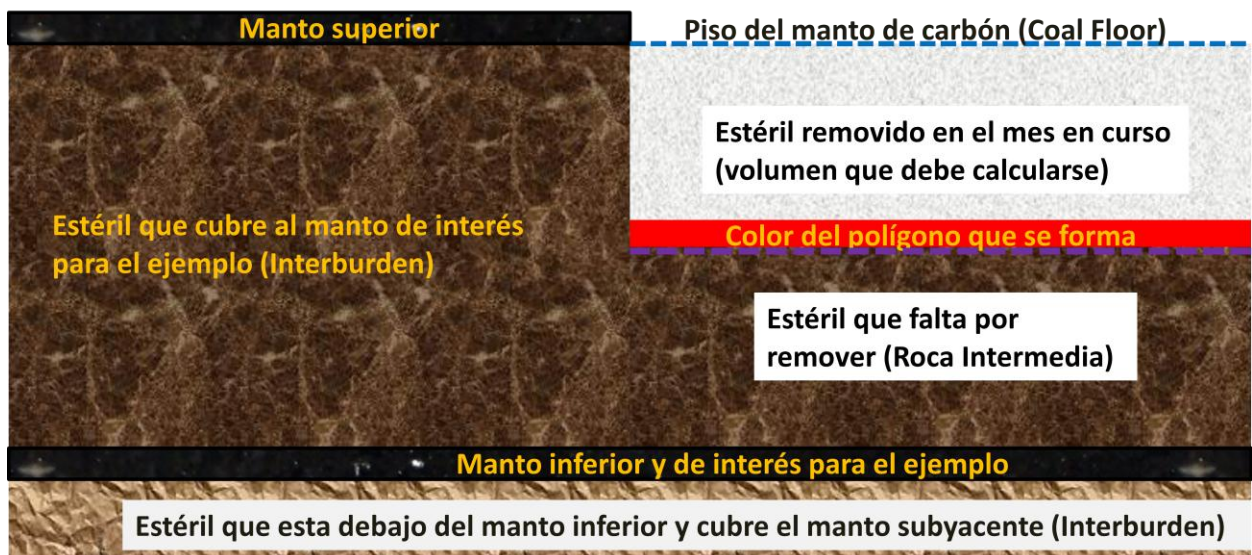
# ANEXOS

**Anexo A.** Terreno inicial (minería convencional)



Fuente. Resultado de la investigación

**Anexo B.** Formación de un polígono rojo (minería convencional)



Fuente. Resultado de la investigación



#### Anexo C. Formación de un polígono verde (minería convencional)



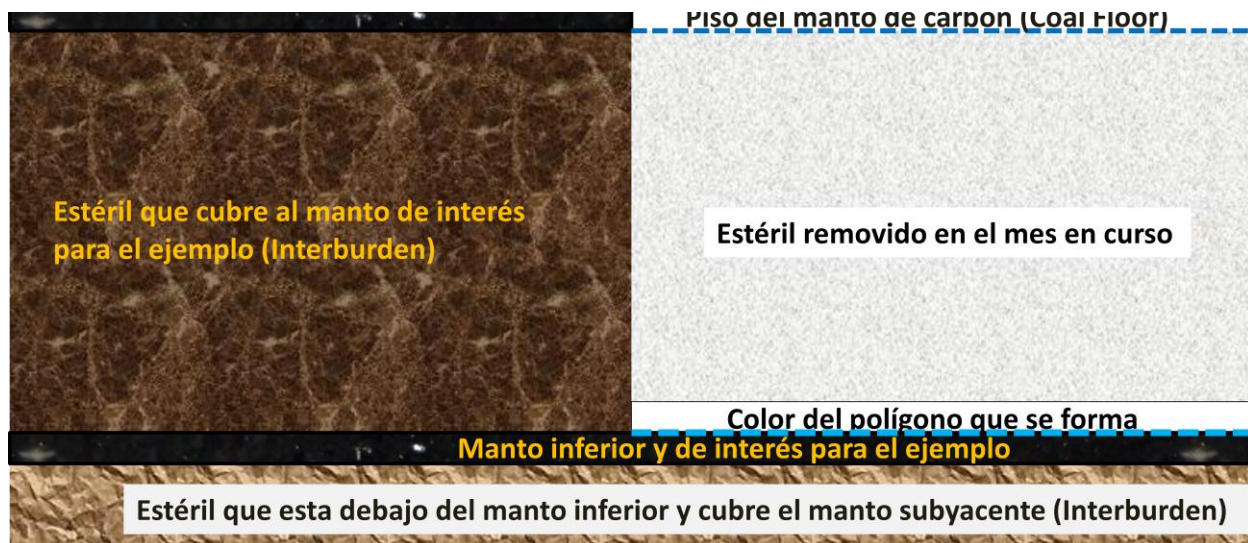
Fuente. Resultado de la investigación

#### Anexo D. Formación de un polígono amarillo (minería convencional)



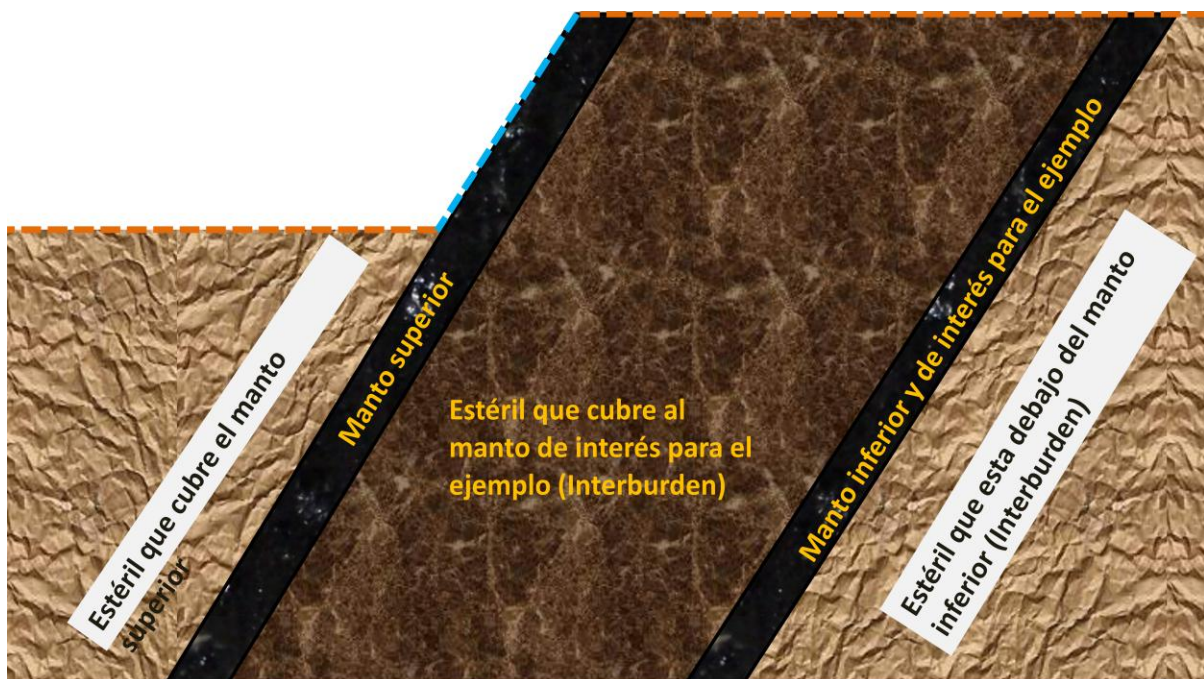
Fuente. Resultado de la investigación

### Anexo E. Formación de un polígono blanco (minería convencional)



Fuente. Resultado de la investigación

### Anexo F. Terreno inicial (minería por niveles)








Fuente. Resultado de la investigación



[illegible][illegible]

99

## Anexo I. Convenciones de los bloques

|   |  |
|---|--|
|  | • Topografía actual                          |
|  | • Topografía Anterior                        |
|  | • Topografía actual coincide con la anterior |
|  | • Piso del manto de carbón (Coal Floor)      |
|  | • Techo del manto de carbón (Coal Roof)      |

Fuente. Resultado de la investigación

## Anexo J. Fotografía ilustrativa de techo de carbón y roca intermedia en minería por niveles



Fuente. Resultado de la investigación